RADIO

ELEMENTI DI RADIOTELEGRAFIA

CASA EDITRICE S. BELFORTE & C. LIVORNO

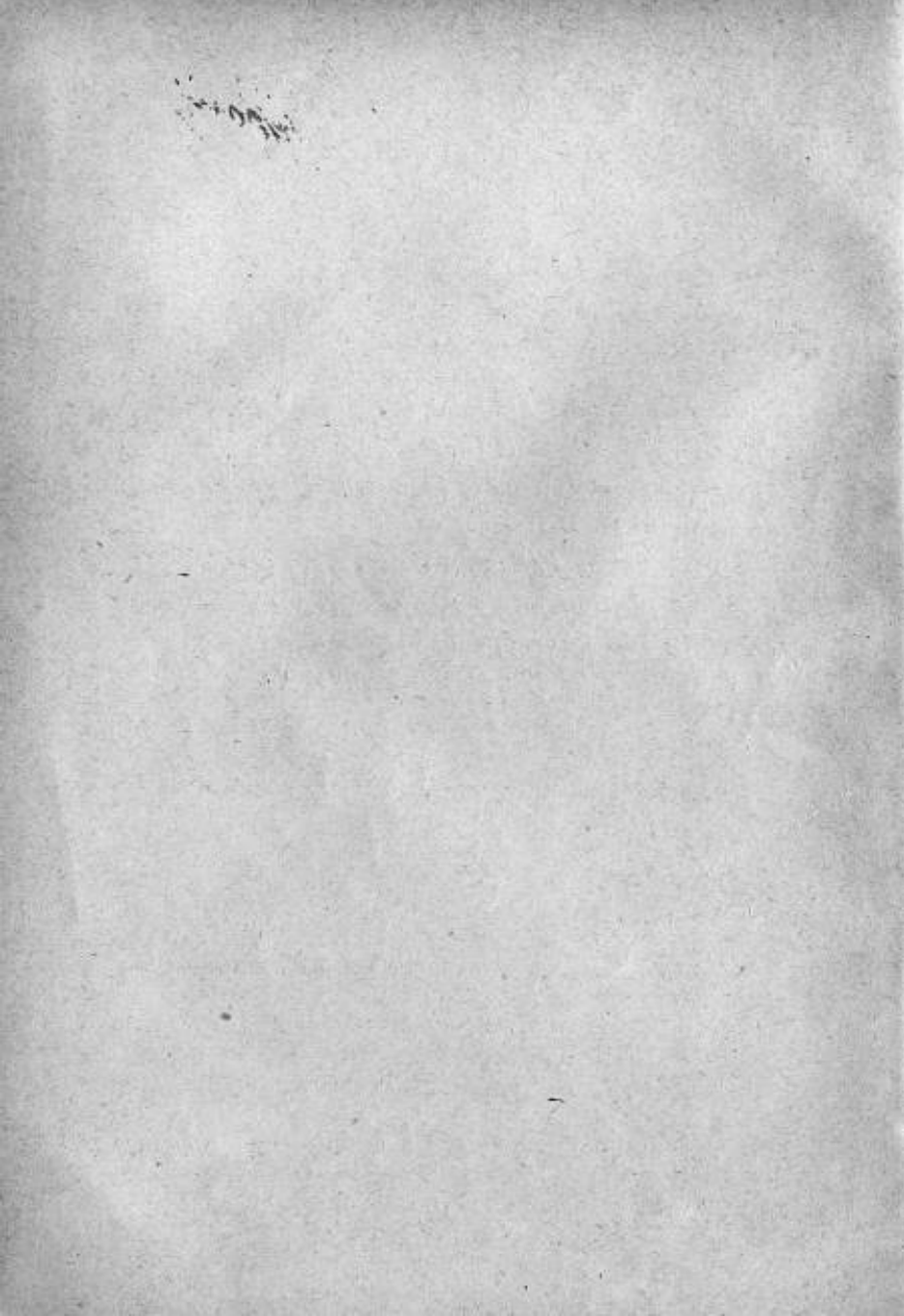
ELEMENTI

DI

RADIOTELEGRAFIA

LIVORNO S. BELFORTE & C. EDITORI

Questo manuale, edito dal Corpo dei segnali dell' Esercito degli Stati Uniti d'America, è stato compilato dal " Bureau of Standards „ sotto la direzione di H. Dellinger.

La traduzione italiana è stata curata presso l'Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della R.ª Marina in Livorno, dal Capitano di corvetta F. Vicedomini *e dal Tenente di vascello* M. Zambon.

INTRODUZIONE

1. Le comunicazioni radiotelegrafiche. — L'esercito e la marina impiegano tutti i sistemi possibili di comunicazione, anche i più primitivi; però i migliori e più rapidi sono quelli elettrici, che comprendono l'usuale telegrafo e telefono a filo e gli apparati radiotelegrafici. Senza linea alcuna di collegamento si possono trasmettere radiotelegrammi da un punto all'altro del fronte di combattimento, dalla nave alla costa, attraverso agli Oceani, agli aereoplani ed anche ai sottomarini immersi.

Quando gettiamo un sasso nell'acqua di uno stagno, produciamo sulla superficie dell'acqua una serie di increspature circolari od onde, che si allargano indefinitamente con una velocità di pochi centimetri al secondo. Similmente una perturbazione elettrica dà origine ad onde elettriche, che si propagano in tutte le direzioni e viaggiano con la velocità della luce, che è di 300.000.000 metri al secondo. Per mezzo di queste onde elettriche avviene la trasmissione dei nostri radiotelegrammi.

Ne consegue che per usare onde elettriche allo scopo pratico di trasmettere dei telegrammi è necessario:

(*a*) Produrre regolari perturbazioni elettriche in un circuito capace di originare le onde. (Tali perturbazioni sono correnti elettriche, che invertono rapidamente la loro direzione).

(*b*) Emettere le onde in uno spazio circostante, attraverso il quale esse viaggiano con grande velocità. (Ciò si ottiene per mezzo dell'antenna trasmettente).

(*c*) Per mezzo di queste onde generare correnti elettriche nel circuito ricevente della stazione lontana. (Il dispositivo, che le onde investono all'arrivo, e che le conduce al circuito ricevente, dicesi antenna ricevente).

(*d*) Modificare queste correnti in modo, che esse possano essere rivelate dagli strumenti elettrici. (Il radiotelegrafista riceve co-

munemente i messaggi attraverso i segnali di un telefono ricevitore).

Allo studioso di comunicazioni radiotelegrafiche occorre una conoscenza delle teorie elettriche più completa di quella, che necessita ai cultori di altri rami dell'elettrotecnica. Il principiante quindi ha notevoli difficoltà da superare. Si possono certamente far funzionare apparecchi, senza avere una profonda cognizione dei principi del loro funzionamento; per questo basta una certa dose di memoria, di diligenza ed un po' di buon senso. Ma una persona, che abbia soltanto questo genere di cognizioni intorno a tali soggetti, è di una utilità relativa, di risorse limitate e non può approfondire gli argomenti. Un buon radiotelegrafista deve avere qualche competenza in tutto il campo dell'elettricità e del magnetismo, e molta familiarità con alcune parti limitate di essi. Per comprendere la radiotelegrafia bisogna avere un'opportuna conoscenza dei seguenti argomenti:

(*a*) Correnti continue ed alternate e macchine elettriche.

(*b*) Correnti alternate ad alta frequenza (compreso l'argomento: scarica dei condensatori).

(*c*) Conduzione della corrente elettrica nel vuoto e nei fili.

(*d*) Onde elettriche, con incluse alcune nozioni sulla moderna interpetrazione dell'elettricità e dell'etere.

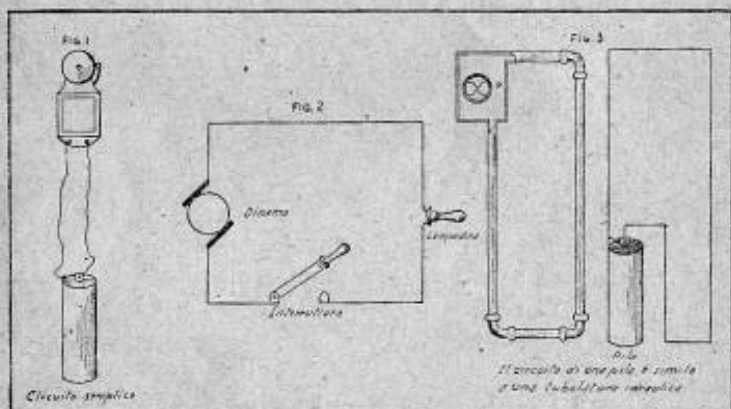
(*e*) Apparati usati per la produzione e ricezione delle onde elettriche.

2. **Concetto fondamentale del circuito elettrico.** — È noto che una batteria fornisce ciò, che dicesi corrente di elettricità. Perchè la corrente attraversi un apparecchio utente, è necessario che il conduttore, che dalla batteria va all'apparecchio e ritorna alla batteria, costituisca un circuito completamente chiuso.

Quando ad esempio si inserisce in un circuito un campanello elettrico, un filo collega uno dei serrafili della batteria (Fig. 1) ad uno dei serrafili del campanello, e l'altro va dall'altro serrafili del campanello al serrafili rimanente della batteria. Ogni rottura del filo produce immediatamente l'interruzione della corrente ed il campanello non suona più. Si ha così un mezzo facile per far agire intermittentemente e a nostra volontà la suoneria del

campanello; basta disporre un pulsante in un punto del circuito, col quale si interrompa e si ristabilisca la corrente. Si ha così un mezzo di comando del campanello, al quale la batteria fornisce l'energia necessaria.

Simili considerazioni si applicano anche per il circuito di illuminazione di una città. I fili di linea vanno più o meno direttamente dalla centrale elettrica alle nostre lampade; e in ciascun portalampada è sistemato un piccolo interruttore a molla. L'apertura o chiusura del circuito si può anche effettuare con un interruttore dello stesso tipo a muro o mediante un interruttore a coltello (Fig. 2) in una piccola custodia.

Qualche volta le lampade si spengono improvvisamente ed allora si dice che si è fusa una valvola. Un breve tratto di filo,

di un metallo facilmente fusibile, si è fuso per il passaggio di una corrente troppo forte. Può anche darsi che si sia dovuto aprire un interruttore alla centrale. Non interessa affatto il punto nel quale è avvenuta la rottura del circuito: il risultato è lo stesso; qualunque sia questo punto la corrente ad un tratto si interrompe. La corrente elettrica deve quindi considerarsi come fluente in ogni punto del circuito, poichè essa parte da un polo della batteria o della dinamo e vi ritorna dall'altro polo.

Corrente. — La corrente, che circola in un circuito, ha la stessa intensità in tutti i punti del circuito stesso. Ciò si può dimostrare, inserendo nel circuito uno strumento di misura, che dicesi amperometro, in differenti punti: *a*, *b*, o *c*, fig. 2. Si trova che lo strumento registra la stessa misura in qualunque punto esso sia inserito. Un'utile illustrazione del circuito elettrico si ha, riferendosi ad una conduttura chiusa (fig. 3), completamente riempita d'acqua e alimentata da una pompa, *P*, o da un'altro mezzo atto a produrre la circolazione dell'acqua. La quantità d'acqua che in ogni secondo parte da un dato punto, è esattamente la stessa che vi arriva nello stesso intervallo di tempo. Ora in un circuito elettrico non abbiamo materia fluida, ma supponiamo vi circoli un qualche cosa, che chiamiamo elettricità. L'elettricità si comporta nel circuito elettrico, come un fluido incompressibile in una conduttura di tubo.

Siamo certissimi che l'elettricità non è una sostanza materiale, ma studiosi e operai comunemente ne parlano come di un fluido. Immagineremo allora che in un circuito elettrico fluisca una corrente di elettricità.

Un mezzo per misurare la rapidità con la quale l'acqua scorre, è di farla circolare attraverso un contatore, che registri il numero totale di litri, che passano. Dividendo detta quantità per il tempo che essa ha impiegato a passare, otteniamo la velocità della corrente. Vi sono strumenti per mezzo dei quali è possibile misurare la quantità totale di elettricità, che durante un certo tempo passa in ogni punto del circuito. Se dividiamo questa quantità per il tempo otteniamo la quantità di elettricità, che è passata in un secondo, ossia l'intensità della corrente.

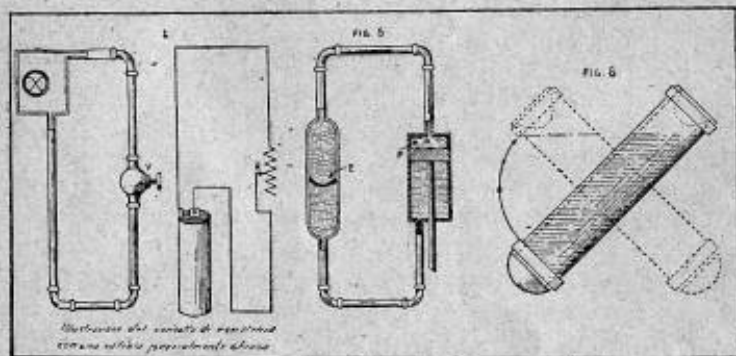
Però in pratica l'intensità della corrente si misura con istrumenti (amperometri), che indicano esattamente in ogni istante l'intensità della corrente stessa, nello stesso modo con cui la velocità di una corrente si può in ogni istante misurare, osservando il moto di un galleggiante alla sua superficie. Questo strumento ci pone in grado di dire a colpo d'occhio, quanto intensa è la corrente, senza necessità di un lungo esame; ed è inoltre possi-

bile osservare le variazioni di intensità della corrente stessa di momento in momento. In relazione a ciò si ricorderà chè in un'automobile si hanno due strumenti di misura. Il misuratore di velocità indica ad ogni istante qual'è la velocità della vettura, cosicchè il conducente può sapere istantaneamente, se egli supera la prescritta velocità massima e può regolarsi convenientemente. L'altro strumento indica quante miglia sono state fatte durante il viaggio, e dalle sue indicazioni si può dedurre la velocità media, se si è misurata la lunghezza del percorso. Lo strumento, atto a misurare la quantità totale di elettricità, corrisponde all'apparecchio totalizzatore delle miglia complessive percorse; l'amperometro corrisponde al misuratore della velocità.

Forza elettromotrice. — L'acqua non scorre in una conduttura (fig. 3) senza una pompa, che continui ad aspirarla; analogamente in un circuito la corrente non può circolare, se nel circuito non si ha una batteria o altra sorgente di elettricità, capace di mantenere una pressione elettrica, cui si dà il nome di « forza elettromotrice ». Essa di solito si indica in maniera abbreviata con: « f. e. m. ». Maggiore è il numero degli elementi della batteria, maggiore è la pressione elettrica e più intensa la corrente prodotta, nello stesso modo che la rapidità della corrente d'acqua in una conduttura dipende dalla maggiore o minore aspirazione prodotta dalla pompa.

Resistenza. — Una conduttura, qualunque sia la sua sezione e la materia di cui è costituita, offre sempre alla corrente d'acqua che l'attraversa un certo attrito. Se l'attrito mancasse, l'acqua aumenterebbe indefinitamente di velocità. Similmente un circuito elettrico offre alla corrente un attrito, che costituisce la « resistenza » del circuito. Maggiore è la resistenza, meno intensa è la corrente, che una determinata batteria può far circolare in un circuito; così come maggiore è l'attrito, minore è la rapidità della corrente d'acqua messa in circolazione da una pompa. Una resistenza in un punto del circuito corrisponde ad una valvola parzialmente chiusa in un punto della conduttura (fig. 4).

Correnti costanti e variabili. — Una pompa capace di mante-

nere una pressione costante in una determinata direzione fa circolare in una conduttura una corrente d'acqua di intensità costante. Lo stesso avviene per le batterie e per alcune dinamo, che producono una f. e. m. di valore costante. Una corrente elettrica di intensità costante e sempre nella stessa direzione dicesi « corrente continua ». Possiamo supporre invece che all'acqua sia data una successione di impulsi tutti nella stessa direzione, ma separati da intervalli, nei quali l'acqua non è sottoposta a pressione. Un caso simile avviene nella circolazione del sangue per le pulsazioni del cuore. Una corrente di questo genere può circolare in un circuito, in cui la f. e. m. agisca intermittentemente. A questo tipo di corrente si applica il nome molto proprio di « corrente pulsante ».

Una importantissima varietà di correnti per scopi radiotelegrafici è quella nota col nome di « corrente alternata ». Essa è analoga alla corrente, che sarebbe prodotta se l'acqua, invece di essere mossa da una pompa, fosse agitata da una paletta, che muovesse rapidamente avanti e indietro a breve distanza senza oltrepassare certi limiti. Sotto l'azione di questa paletta l'acqua non ha ancora aumentato rapidamente di velocità in una direzione, che è costretta a rallentare e ad assumere poi velocità in direzione opposta e così di seguito. L'acqua fluisce semplice-

mente prima in una direzione poi nell'altra, cosicchè un piccolo oggetto sospeso nell'acqua non potrebbe avanzare nel tubo, ma oscillerebbe semplicemente avanti e indietro entro un breve spazio.

Effetto dei condensatori. — Come nuovo caso supponiamo che nel tubo sia sistemata una parete elastica *E*, (fig. 5) attraverso a cui l'acqua non possa passare. Se una pompa *P* o un pistone agisce con continuità, l'acqua si muove per un breve tratto fino a che la parete si distende, tanto da esercitare una contropressione sull'acqua, eguale alla pressione della pompa, e allora il movimento dell'acqua cessa del tutto. Se, al contrario, *P* imprime all'acqua un movimento in senso successivamente inverso l'acqua si muove avanti e indietro, distendendo la parete prima in una direzione e poi nell'altra, e spostandosi di brevi tratti, tanto quanto consente l'elasticità della parete. Noi abbiamo in questo caso, malgrado la parete, una corrente alternata.

Un condensatore elettrico in un circuito agisce appunto come una parete elastica. Una corrente continua non può attraversarlo, ma quando nel circuito agisce una f. e. m. alternata, nel circuito si ha una corrente alternata, la cui intensità dipende dalle caratteristiche del condensatore.

Come ultimo caso possiamo immaginare la nostra conduttura costituita da un lungo tubo riempito d'acqua e con le estremità chiuse da pareti elastiche (fig. 6). Supponiamo che nel tubo sia data all'acqua una pressione alternata, oppure che il tubo sia inclinato prima in una direzione e poi nell'altra. L'acqua oscillerà avanti e indietro in un breve tratto nel tubo, prima distendendo la parete ad una estremità e poi la parete all'altra. Si stabilisce in tal modo nel tubo una corrente alternata, pur non essendovi un circuito completo, in cui l'acqua possa scorrere. Un caso analogo a questo è quello dell'oscillazione elettrica di un'antenna. Una corrente elettrica in un circuito, che non si chiude su sè stesso, dicesi « corrente di spostamento ». Per produrre una corrente di spostamento è sempre necessario che il circuito abbia in qualche luogo elasticità elettrica, che esista cioè un condensatore elettrico.

L'importanza della corrente elettrica sta nel fatto che essa è una corrente di energia. Una corrente di acqua trasporta energia; così pure una corrente d'aria. Ciò che conta è il movimento, e per utilizzare l'energia di moto, posseduta dall'acqua, dobbiamo produrne l'arresto. Ogni sostanza materiale, in virtù della propria massa, può funzionare come veicolo per il trasporto di energia da un punto all'altro, purchè sia posta in movimento. Nel caso della corrente elettrica non c'è bisogno di ricercare se l'elettricità abbia massa. Ciò che importa nell'uso degli apparati elettrici è la trasformazione dell'energia della corrente in altre forme comuni di energia: calore, luce e moto. La corrente elettrica è il veicolo, col quale si trasmette energia dalla centrale elettrica al consumatore, e, in pratica, non interessa conoscere il modo con cui l'energia è trasportata più di quanto importi investigare sulla natura della cinghia, con la quale l'energia meccanica passa da una ruota all'altra, o la natura chimica dell'acqua, che fornisce potenza in un impianto idraulico.

La corrente elettrica non si può vedere, toccare, fiutare, udire o assaggiare. La sua presenza può essere soltanto rivelata dai suoi effetti, cioè da quello che accade, quando essa cede parte della sua energia. Così una corrente elettrica può, cedendo parte della sua energia, far girare un motore. In questo caso l'energia elettrica é sostituita da energia meccanica. Similmente l'energia elettrica si può trasformare in calore o in luce o in effetti chimici. Le scosse elettriche non sono piacevoli: effettivamente non è la corrente in sè stessa che ci dà noia, ma sono le contrazioni muscolari causate dal passaggio della corrente. La lampada elettrica ha un effetto sull'occhio. Pure noi non vediamo la corrente elettrica nella lampada, ma l'azione sull'occhio è dovuta all'onda di luce emanata dal filamento riscaldato. L'energia della corrente si cambia in calore nella lampada. Quando udiamo un ronzio nel telefono, non è la corrente elettrica che udiamo, ma semplicemente la vibrazione del sottile diaframma. La corrente elettrica spende parte della sua energia nel muovere il diaframma. Il gusto acido che avvertiamo, quando poniamo la lingua a contatto dei poli di una pila a secco, è dovuto

alla decomposizione chimica della saliva in altri composti risultanti dal passaggio della corrente attraverso di essa.

Nel prossimo paragrafo la corrente elettrica è studiata attraverso gli effetti, che essa produce, e nell'ultimo paragrafo ne è data una trattazione più dettagliata ed esatta.

CAPITOLO 1.

ELETTRICITÀ ELEMENTARE.

A. Corrente Elettrica.

3. Effetti della corrente elettrica. — L'elettricità si può raccogliere in un apparecchio, che dicesi condensatore, (paragrafo 30), come l'aria sotto pressione in un serbatoio, e questa condizione determina alcuni effetti caratteristici. Difatti le applicazioni pratiche più importanti dell'elettricità derivano dal movimento di cariche elettriche e cioè dalla corrente elettrica. La quantità di elettricità ha per noi importanza, in quanto ha relazione cogli elettroni (paragrafo 6) e colla capacità.

Se osserviamo un filo nel quale fluisce una corrente elettrica, lo vediamo perfettamente identico ad un altro nel quale non passi corrente. I nostri sensi non sono direttamente impressionati dall'elettricità in sè stessa, e perciò, quando si desidera verificare l'esistenza di una corrente è necessario riferirsi a determinati effetti che sono associati col flusso di corrente lungo un conduttore. Alcuni di questi effetti sono i seguenti:

a) Se si porta un filo rettilineo nei pressi di un piccolo magnete, ad es. un ago di bussola, disposto in modo che il suo asse di rotazione sia parallelo all'asse del filo, (fig. 7) l'ago devia di un certo angolo e tende a disporsi secondo la tangente ad un circolo concentrico al filo: rimanendo nella nuova posizione fino a che l'intensità della corrente non varia.

(b) Un filo attraversato da una corrente assume una temperatura più alta di quella che aveva, prima di essere percorso dalla corrente stessa. Questo fatto si può controllare immediatamente con un termometro sensibile; e in determinate condizioni, come ad es. in una ordinaria lampada ad incandescenza,

l'elevazione di temperatura è così notevole da rendere il filamento incandescente.

(*c*) Se si taglia il filo, lungo il quale fluisce la corrente, e se le estremità separate si collegano rispettivamente a due piastre metalliche, immerse in una soluzione chimica, come ad es. solfato di rame, si ha nella soluzione una reazione chimica, accompagnata da un deposito di rame su una delle piastre.

L'attenzione dello studioso deve fissarsi sopra questi effetti della corrente piuttosto che sulla corrente in sè stessa: poichè infatti gli effetti della corrente elettrica consentono di constatare la sua presenza in un filo, di misurarne l'intensità, e di utilizzarla. Così l'effetto magnetico è la base del macchinario dinamo-elettrico e delle comunicazioni radiotelegrafiche; l'effetto calorifico rende possibile la cucina e l'illuminazione elettrica; l'effetto chimico è la base dell'argentatura o doratura galvanica. Tutti e tre gli effetti si utilizzano nelle misure elettriche.

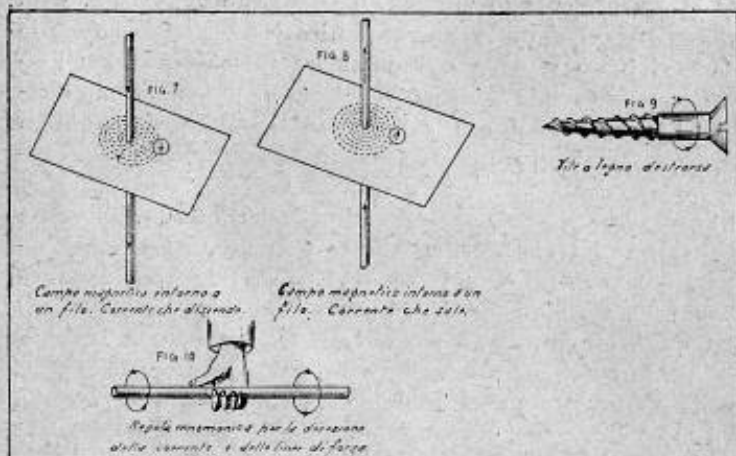
Si deve tener presente che espressioni come: « flusso, corrente » ed altri termini elettrici, attualmente in uso, sono semplicemente superstiti di tempi passati, quando si supponeva che l'elettricità fosse un fluido. Questi termini sono tuttavia utili per darci delle figurazioni mentali del fenomeno reale dell'elettricità. La nostra attenzione deve sempre concentrarsi sui fatti e sugli effetti, che questi termini rappresentano, e le parole o frasi in sè stesse non devono essere prese troppo letteralmente.

4. Intensità e direzione della corrente. — Per mezzo dell'effetto magnetico si dimostra subito che la corrente elettrica ha una direzione. Se il filo rappresentato nella fig. 7 attraversa il foglio, *O*, e viene di poi rovesciato nella direzione opposta, l'ago magnetico indica una direzione pressochè opposta a quella che aveva nella sua posizione iniziale (fig 8). Lo stesso risultato si ottiene permutando i fili ai poli della batteria.

La direzione del flusso della corrente elettrica è in ogni caso una questione arbitraria di definizione, ed in pratica lo studioso determinerà usualmente la direzione per mezzo di uno strumento, le cui viti di pressione sono contrassegnate con +, e —.

Si è stabilito che la corrente entri nello strumento al serrafili + e ne esca dal serrafili —.

Si può anche ricorrere all'effetto magnetico per determinare la direzione della corrente (paragrafo 40) Riferendoci nuovamente alla fig. 7, si vede che, quando la corrente attraversa il foglio dall'alto al basso, l'ago magnetico tende a disporsi, in ogni punto del foglio, col suo polo nord tangenzialmente ad uno dei cerchi concentrici al filo. Il polo nord dell'ago, per un osservatore, che guardi lungo il conduttore nella direzione della corrente, si sposta nel senso del movimento delle sfere dell'oro-

logio. Altre regole utili per ricordare le stesse direzioni relative, sono le seguenti:

(a) Afferrare il filo con la mano destra, tenendo il pollice disteso lungo il filo nella direzione della corrente. Le dita curvate in basso indicheranno la direzione del campo magnetico (fig. 10).

(b) Immaginare una vite a legno inoltrata a blocco nella direzione della corrente (fig. 9). Il senso della sua rotazione indicherà allora la direzione del campo magnetico intorno al conduttore.

Lo studioso dovrà rendersi completamente familiare una di queste regole, impratichendosene con un piccolo ago magnetico ed un circuito elettrico semplice.

5. **Misura della Corrente Elettrica e della Quantità di Elettricità.** — Tutte e tre le semplici vie con le quali si può constatare la presenza dalla corrente elettrica in un circuito, forniscono mezzi atti alla sua misura. Si può sfruttare l'effetto magnetico della corrente, disponendo un filo ed un magnete in posizioni tali che, quando una corrente attraversa il filo, il magnete od il filo si muovano. L'effetto calorifico della corrente si utilizza negli strumenti a filo caldo (parag. 59), nei quali un indice si sposta sopra un quadrante per effetto della dilatazione subita dal filo nel riscaldarsi. È questo il principio fondamentale di una grande varietà di strumenti di misura, che si dicono «amperometri». L'intensità della corrente si legge sulla scala a quadrante dello strumento, che è usualmente graduata, in unità chiamate «ampere». (1)

L'ampere è una unità la cui grandezza è stata definita con accordo internazionale. Per la sua definizione si è usato il terzo effetto della corrente elettrica sopra descritto. Il peso di metallo, che la corrente elettrica fa depositare da una soluzione, dipende dal prodotto della intensità della corrente per il tempo, durante il quale la corrente ha attraversato la soluzione stessa. Si è così sperimentalmente constatato che una corrente, della durata di 100 secondi, deposita tanto metallo, quanto ne deposita una corrente di intensità 100 volte maggiore e della durata di un secondo, ecc. Ricordando che il concetto di intensità di corrente è legato all'altro dalla rapidità con la quale l'elettricità scorre, è evidente che il prodotto della intensità della corrente per il tempo dà la quantità totale di elettricità, che ha attraversato la soluzione.

Il peso di metallo, che la corrente deposita è quindi proporzionale alla quantità totale di elettricità che ha attraversato la soluzione. Quantità uguali di elettricità, depositeranno pesi dif-

---

(1) Vedi Appendice 2 sulle « Unità di misura »

ferenti di differenti metalli; ma la stessa quantità di elettricità deposita sempre lo stesso peso di un dato metallo.

L'ampere (e propriamente l'ampere internazionale) è quella corrente invariabile, che passando attraverso una soluzione neutra di nitrato d'argento, deposita 0,001118 grammi di argento al secondo.

Un modo pratico per ricordare questo numero é di tener presente che, dopo la virgola, ci sono: due zeri, tre uno e quattro due = 8. Mentre questo metodo potrebbe servire per misurare la intensità della corrente, in pratica si ricorre ad altri sistemi; tuttavia gli strumenti di misura d'uso corrente si tarano più o meno direttamente in base alla unità così definita.

6. **Elettroni.** — Quando la corrente elettrica circola in un conduttore, si ha in esso un flusso di particelle di elettricità estremamente piccole, che diconsi elettroni. Lo studio di essi è importante non solo dal punto di vista della corrente elettrica, ma anche in relazione ai fenomeni luminosi, termici e chimici. La ragione di ciò è nel fatto che gli elettroni sono contenuti da tutte le sostanze. La materia è formata di atomi, che sono particelle di materia estremamente piccole (una goccia di acqua ne contiene bilioni), le quali contengono una certa quantità di elettricità negativa, ossia di elettroni, ed una certa quantità di elettricità positiva. Normalmente le due quantità di elettricità positiva e negativa sono perfettamente eguali: ma una parte degli elettroni non sono saldamente collegati agli atomi, cosicchè possono sfuggire, quando l'atomo è urtato violentemente. Se un elettrone lascia un atomo, si ha in esso meno elettricità negativa che positiva; in queste condizioni si dice che l'atomo è caricato positivamente. Quando d'altra parte un atomo raccoglie uno o più extra-elettroni si dice che è caricato negativamente.

Gli atomi sono costantemente in movimento, e quando essi si urtano l'un l'altro, mettono qualche volta in libertà un elettrone. Questo elettrone allora muove liberamente fra gli atomi. Il calore ha influenza sullo svolgersi del fenomeno. Più alta è

la temperatura, più velocemente gli atomi si muovono, e maggiore è il numero di elettroni che si liberano. Se un corpo caldo è immerso nel vuoto, gli elettroni si staccano da esso e vanno nello spazio circostante. Il movimento degli elettroni si utilizza nelle valvole ioniche, argomento del capitolo 6 di questo libro. Il movimento degli elettroni nell'interno di un filo od altro conduttore spiega il fluire della corrente elettrica.

B. Resistenza e Resistività.

7. Resistenza e Conduttanza. — Il fluire della corrente in un circuito è contrastato da una proprietà di questo, che dicesi « resistenza » (simbolo R). La resistenza dipende dalla natura dei materiali, di cui è composto il circuito, ed anche dalla forma, lunghezza, e sezione delle sue varie parti. Se l'intensità della corrente, che scorre in un circuito, e la temperatura restano invariate, anche la resistenza è una quantità costante. Questa importante relazione dicesi legge di Ohm e sarà trattata più in là nel parag. 14. Possiamo considerare i corpi esistenti in natura in relazione alla loro attitudine a condurre l'elettricità; quelli attraverso ai quali la corrente passa con facilità, si dicono « corpi conducenti » o « conduttori »; mentre quelli attraverso ai quali passa con difficoltà, si chiamano « corpi isolanti » o « non-conduttori ». Non si conosce tuttavia un corpo che non offra alla corrente alcuna opposizione, nè si conosce un corpo attraverso il quale una corrente sia pur debole non possa passare. Non vi è quindi una distinzione assoluta fra le due categorie dei corpi, poichè si passa gradualmente dall'una all'altra. Comunque, si ricorderà che i conduttori hanno un'attitudine a lasciar passare la corrente, che è di gran lunga più notevole dell'attitudine corrispondente degli isolanti. La debole corrente, che in determinate circostanze attraversa un isolatore costituisce propriamente una « dispersione di corrente ». Sarebbe un isolatore ideale, quello che non permettesse assolutamente il passaggio di corrente alcuna. Esempi di materiali buoni conduttori sono i metalli e quella categoria di conduttori liquidi,

che diconsi elettroliti. Esempi di materiali isolanti sono i gas asciutti, il vetro, la porcellana, il caucciù, e varie cere, resine ed oli.

Un circuito, che offre una debole resistenza alla corrente, si dice avere una buona conduttanza. Rappresentando questa con g, possiamo scrivere

$$g=\frac{1}{R}\ ;\quad ,\text{o}\quad R=\frac{1}{g} \tag{1}$$

Per esempio un circuito di resistenza 10 ohm ha una conduttanza di 0,1; ed uno di resistenza 0,01 ohm. ha una conduttanza di 100. L'unità di resistenza chiamata « ohm » si definisce in base ad una resistenza campione costituita di mercurio puro, di lunghezza, massa e temperatura accuratamente determinate.

L'ohm. internazionale è la resistenza che una colonna di mercurio alta 106, 3 centimetri e del peso di grammi 14.4521, offre alla temperatura di 0° C ad una corrente di intensità costante.

Per resistenze piccolissime, si usa come unità di resistenza la milionesima parte dell'ohm, che dicesi « microohm ». Per resistenze grandi si ricorre ad una unità di resistenza pari ad un milione di ohm, che chiamasi « megaohm ».

L'opposizione, che un conduttore presenta al passaggio della corrente, è qualche cosa di analogo all'attrito, che si manifesta fra l'acqua, che scorre in un tubo e la superficie interna di questo. L'attrito è sempre accompagnato da produzione di calore. Se attraverso ad un conduttore circola una corrente di intensità costante, la quantità di calore prodotta è pure costante. Il calore totale prodotto in t secondi è proporzionale alla resistenza del circuito, al quadrato della corrente ed al tempo, quindi

$$W=RI^2t \tag{2}$$

Da ciò segue che si può misurare la resistenza R di un determinato tratto di circuito dal calore prodotto in essa. Il calore

sarà misurato in «joule» quando la corrente è in ampere, la resistenza in ohm, ed il tempo in secondi. Per avere il calore in calorie si userà la relazione: $W/J = H$ dove W è in joule ed J è il numero di joule corrispondente ad una caloria. La relazione data dall'equazione (2) è nota col nome di legge di Joule.

8. **Resistività e Conduttività.** — Si dimostra sperimentalmente che la resistenza di un tratto di filo, di sezione trasversale uniforme, è direttamente proporzionale alla lunghezza e inversamente proporzionale alla sezione del filo e di più che la resistenza dipende dalla natura del materiale di cui il filo è costituito. Questa relazione si può esprimere colla formula:

$$R = \rho \frac{l}{s} \tag{3}$$

dove R è la resistenza da determinare, l è la lunghezza, s la sezione trasversale, e ρ è una costante, che caratterizza il materiale preso in esame. Risolvendo questa equazione rispetto a ρ abbiamo:

$$\rho = R \frac{s}{l} \tag{4}$$

Se si sceglie un tratto di conduttore, avente l'unità di sezione trasversale e l'unità di lunghezza, si vede che ρ è proprio la resistenza del tratto di conduttore preso in esame. Il fattore ρ dicesi «resistività» della sostanza, e si definisce come la resistenza tra le facce opposte del cubo unitario. L'ohm o il microohm si usano comunemente come unità di resistenza ed il centimetro come unità di lunghezza. La resistività si può esprimere in queste unità ed anche in ohm per metri di filo e per millimetro di diametro.

Altre unità di resistenza si basano sulla massa di un filo campione anzichè sul suo volume; così per esempio si sceglie come resistenza unitaria quella di un tratto uniforme di filo di un metro di lunghezza e di un grammo di massa. Praticamente la

resistività di massa è spesso preferibile alla resistività di volume per le seguenti ragioni: *(a)* sovente sono difficili a farsi misure sufficientemente esatte della sezione trasversale di esemplari, e in alcuni casi esse sono addirittura impossibili; *(b)* i conduttori sono generalmente venduti piuttosto a peso che a volume, e quindi gli elementi di maggior interesse sono forniti più direttamente. Le unità di massa e di volume sono prontamente convertibili, purchè si conosca la densità del materiale. Se nell'equazione (3) sostituiamo ad s il suo valore v/l, dove v è il volume, ed a v, il suo equivalente $\frac{m}{d}$ dove m è la massa e d la densità, abbiamo:

$$R=\rho d\frac{l^2}{m} \qquad (5)$$

La quantità ρd si dice « resistività di massa » del materiale. La resistività di volume si può quindi trasformare in resistività di massa o viceversa, avendo cura che tutte le quantità siano date nelle corrispondenti unità. Come esempi pratici di resistenza si riferiscono i seguenti:

1. Un ohm è la resistenza di m. 47.85 di filo di rame del diametro di circa 1 mm.

2. Un filo di ferro lungo m. 30.48 e del diametro di circa 2,5 mm., ha una resistenza di 6.5 ohm.

Nello stesso modo che la conduttanza è il reciproco della resistenza, quando si considerino le proprietà di un circuito, così la « conduttività » è il reciproco della resistività, quando si considerino le proprietà di un dato materiale. La sua unità è il » mho » o « ohm reciproco ».

9. **Coefficiente di Temperatura.** — Si dimostra sperimentalmente che la resistenza elettrica di tutte le sostanze varia più o meno col variare della temperatura. Tutti i metalli puri e la maggior parte delle leghe metalliche, con l'aumentare della temperatura manifestano un aumento di resistenza. Il carbonio e la maggior parte dei conduttori liquidi, come le soluzioni acidulate,

presentano coll'aumentare della temperatura una diminuzione di resistenza. L'esperienza dimostra che si può calcolare la resistenza elettrica di un conduttore ad una temperatura t, quando se ne conosca la resistenza alla temperatura di zero gradi (punto di fusione del ghiaccio), mediante la relazione:

$$R_t = R_0 + R_0 \alpha_0 t \tag{6}$$

dove R_0 è la resistenza del saggio a zero gradi, ed α_0 è la variazione della resistenza unitaria, quando la temperatura varia da zero a 1° C. Il fattore α_0 dicesi « coefficiente di temperatura » di resistenza per quel dato materiale. Risolvendo l'equazione (6) rispetto ad α_0 abbiamo

$$\alpha_0 = \frac{R_t - R_0}{R_0 t} \tag{7}$$

L'equazione (7) mostra che α_0 è la variazione di resistenza, che subisce un ohm per un grado di variazione della temperatura; ossia è la variazione percentuale della resistenza totale per un grado di variazione della temperatura. Se, con un aumento di temperatura, la resistenza del materiale diminuisce, si dice che il coefficiente di temperatura è negativo.

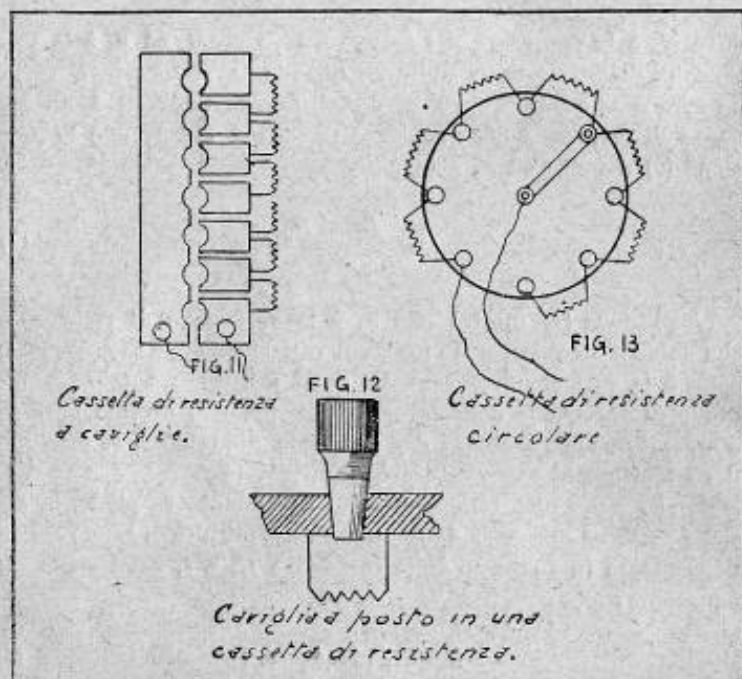
Se si sceglie una temperatura di riferimento t_1, allora la resistenza R_2 ad una seconda temperatura t_2 più alta di t_1 può essere determinata in funzione della resistenza R_1 a t_1 colla seguente equazione:

$$R_2 = R_1[1 + \alpha_1(t_2 - t_1)] \tag{8}$$

I calcoli relativi possono semplificarsi con l'uso di una tavola di valori di α, per varie temperature di riferimento iniziali.

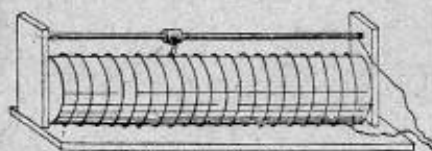
10. **Regolazione della Corrente.** — Nelle ordinarie applicazioni occorre spesso di dover aumentare l'intensità di una corrente per portarla ad un dato valore. Ciò si fa generalmente variando la resistenza del circuito mediante « cassette di resi-

stenza » e « reostati », che sono delle resistenze di materiale adatto, variabili entro limiti determinati, in relazione alla intensità di corrente, che possono sopportare.

Una cassetta di resistenza si compone di alcune bobine di filo avvolto a spirali ravvicinate e contenute in un telaio o in una scatola, (Fig. 11, 12 e 13): le bobine sono disposte in modo che,

maneggiando gli inseritori o le caviglie, si possono inserire nel circuito una ad una.

I limiti estremi di resistenza, inseribili in un circuito con tale dispositivo, variano da un centesimo o da un decimo di ohm a più di 100.000 ohm. Ogni bobina è accuratamente tarata e contrassegnata col valore della sua resistenza. È così possibile co-

noscere con esattezza il valore della resistenza introdotta in un circuito dalle cassette di resistenza. Le bobine si costruiscono con filo relativamente sottile e si dispongono in modo tale da non produrre intorno ad esse notevoli campi magnetici: esse possono sopportare solamente deboli correnti, comunemente non maggiori di una frazione di ampere.

Il nome « reostato » è in generale applicato ad un dispositivo simile, ma capace di sopportare una maggiore intensità di corrente e suscettibile di un minor campo di variazione. I suoi avvolgimenti sono generalmente scoperti e possono essere gradualmente variati. (Fig. 14 e 15). Gli elementi di griglia, comunemente tenuti sotto la piattaforma delle vetture tramviarie

Reostato tubolare
FIG. 14

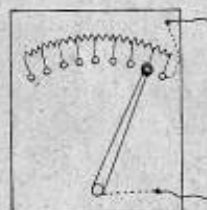



FIG. 15
Reostato di campo

sono un noto esempio di reostati. La resistenza dei singoli elementi di un reostato non è generalmente nota, a differenza di quanto si è detto per le cassette di resistenza. Per misurare correnti notevoli si usa frequentemente una resistenza costituita da piastre immerse in una vasca contenente un liquido conduttore. La regolazione della resistenza si esegue variando la distanza fra le piastre. Per valori di resistenza inferiori, si usa spesso nei laboratori il reostato a carbone compresso. In questo tipo di reostato un certo numero di piastre di carbone sono portate a contatto più o meno intimo da una vite di pressione regolabile.

Per molti scopi sono convenienti reostati di resistenza fissi

e invariabili. Se fatti con cura, e tarati con precisione, costituiscono dei rocchetti di resistenza campione.

L'intervallo di resistenza, per cui possono essere tarati, varia da 0,00001 ohm a 100000 ohm; si può conseguire con essi un notevole grado di precisione nelle misure, e possono sopportare correnti anche intense.

Si usano spesso come reostati quadri di lampade ad incandescenza raggruppati in modo vario. La resistenza di tali lampade é soggetta a oscillazioni notevoli per effetto delle variazioni di temperatura dei filamenti, ma ad una determinata temperatura è un elemento costante. Un reostato di questo tipo offre il vantaggio di essere prontamente regolabile mediante l'inserzione o esclusione di alcune lampade. È solido e non presenta, come gli altri tipi, gli inconvenienti dovuti all'eccessivo riscaldamento.

11. Materiali Conduttori. — I materiali conduttori, comunemente metalli e leghe metalliche, si utilizzano nei circuiti elettrici con due scopi differenti. In un caso si richiede da essi che offrano alla corrente la minima resistenza possibile; nell'altro che presentino una notevole resistenza. Questi casi saranno trattati successivamente.

(a) Se il conduttore trasmette energia da un punto ad un altro lontano per mezzo di una corrente elettrica, si è visto dall'equazione (2) che parte dell'energia viene dissipata nel conduttore sotto forma di calore. Questa perdita dovrebbe essere la minima possibile, e per tale ragione la scelta del materiale da usare come conduttore e delle sue dimensioni va fatta con grande cura. Per ragioni di economia la sezione trasversale non deve essere troppo grande, quindi un buon materiale per linee di conduzione deve avere bassa resistività, essere abbondante sul mercato e ad un prezzo di produzione relativamente basso. Un materiale che presenta tali requisiti è il rame. L'alluminio è assai usato nei casi in cui conviene la leggerezza delle linee e quando l'aumento delle dimensioni non costituisce uno svantaggio. L'acciaio si usa nei casi, in cui si richiedono alle linee notevoli sforzi di tensione, e quando la corrente è poco intensa come nelle linee telegrafiche. Per le linee, che devono soppor-

tare tali sforzi e che devono contemporaneamente offrire la minima resistenza alla corrente, come avviene per gli aerei radiotelegrafici, si adopera spesso una treccia di fili di bronzo fosforoso.

(b) D'altra parte un materiale, che deve servire per la costruzione delle spirali dei reostati, deve avere le seguenti proprietà:

1. La sua resistività deve essere notevole, per modo che si possa realizzare una forte resistenza con un volume limitato di filo.

2. La sua resistività deve essere costante, per modo che la resistenza di ciascuna sezione del reostato non subisca coll'andar del tempo progressive variazioni.

3. Il coefficiente di temperatura deve essere piccolo, perchè le variazioni di temperatura non abbiano influenza apprezzabile sui valori della resistenza.

4. L'effetto termo-elettrico (parag. 15) fra la sostanza scelta e il rame e l'ottone deve essere piccolo, perchè le variazioni di temperatura fra le diverse parti del circuito non diano origine a correnti termiche nocive.

Il rame, quantunque largamente usato come conduttore, ha una resistività troppo bassa ed un coefficiente di temperatura troppo elevato per prestarsi alla costruzione di reostati campione. Così il ferro non ha una resistività sufficientemente elevata e costante, perchè possa avere un largo uso nella costruzione di reostati, tranne che in alcuni reostati di tipo speciale. Alcune leghe di rame e nichel hanno una resistività sufficientemente alta, ma a contatto del bronzo e del rame, sviluppano delle f. e. m. termiche notevoli, che le rendono inadatte per reostati di precisione. La manganina invece è un materiale che si presta bene alla costruzione di reostati, avendo una elevata resistività e un coefficiente di temperatura ed un effetto termoelettrico praticamente trascurabili.

Trafile Campioni. Il calibro dei fili si determina generalmente in due modi, o dando il diametro effettivo in millimetri o assegnando al filo un posto determinato in una serie arbitraria di numeri, chiamata trafila campione.

12. Materiali non Conduttori o Isolanti. — Si è parlato nel paragrafo precedente dell'importanza, che hanno i buoni conduttori nelle applicazioni pratiche dell'elettricità. È tuttavia egualmente importante avere materiali non conduttori, allo scopo di ben limitare la via che la corrente elettrica deve seguire. Tali materiali si dicono comunemente isolanti o dielettrici. È noto che i fili elettrici sono ordinariamente ricoperti da strati di cotone, seta, gomma e altre sostanze non conducenti, e sono sostenuti da forme di porcellana, e corrono entro tubi di argilla. Questo si fa per impedire alla corrente di disperdersi lungo vie laterali fortuite, prima di giungere al punto dove deve essere utilizzata.

A rigor di termini non vi è sostanza alcuna, che sia un perfetto isolante. I materiali comunemente usati per questo scopo hanno una resistività di volume variante da 10.000 ohm. a 10^{17} ohm fra le facce opposte del cubo unitario. Questo significa che la tensione di un volt, applicata al cubo unitario per mezzo di terminali di metallo conveniente, produrrà il passaggio di una corrente da $\frac{1}{10.000}$ a $\frac{1}{10^{17}}$ di ampere (parag. 13).

La maggior parte delle sostanze isolanti manifestano in corrispondenza ad un aumento di temperatura una diminuzione di resistività di volume. Queste variazioni sono irregolari e talvolta rapide. Esse non sono semplicemente proporzionali alle variazioni di temperatura. L'umidità ha una grande influenza, e in materiali come l'ardesia, il marmo, le bakelite e la fibra dura tende ad abbassare la resistività di volume. Molto frequentemente la corrente, che sfugge lungo la superficie è assai più notevole di quella, che per conduzione attraversa l'isolante; e la corrente superficiale si propaga in gran parte attraverso lo strato di umidità, che si deposita sulla superficie. Alcune sostanze si ricoprono di un velo di umidità più prontamente di altre. In ogni caso bisogna assicurarsi che gli effetti dell'umidità siano o eliminati o ridotti entro limiti ammissibili.

Quando si opera con forti differenze di potenziale, la resistenza dielettrica è più importante della resistività di volume. Se

la differenza di potenziale applicata fra due facce opposte di una lastra di materiale dielettrico, oltrepassa un determinato valore critico, il dielettrico si rompe, come se fosse soggetto ad una sollecitazione meccanica e fra le due facce opposte scocca una scintilla. Nel caso che il dielettrico sia un liquido od un gas, la sua continuità si ristabilisce immediatamente dopo che la scintilla è cessata. In un dielettrico solido invece la via aperta alla scintilla di scarica costituisce un difetto permanente, e se la sorgente fornisce energia in quantità sufficiente, una corrente continua si stabilisce attraverso l'arco o ponte di vapori originato dalla prima scintilla. La resistenza dielettrica è l'opposizione che i materiali in misura diversa presentano al perforamento della scintilla, ed è misurata dal numero di volt o kilovolt richiesti per forare un dato spessore di materiale. Una tabella dei valori della resistenza dielettrica dell'aria è data nel Capitolo 5, Parag. 171. Essa non può essere misurata con grande precisione, perchè i risultati variano: *(a)* colla natura della tensione applicata, continua o alternata, *(b)* colla distanza fra i terminali, *(c)* col tempo durante il quale la tensione agisce e *(d)* colla forma dei terminali. La presenza di umidità abbassa il valore della resistenza dielettrica. L'aria secca è una delle migliori sostanze isolanti, ma la sua resistenza dielettrica è più bassa di quella di molti liquidi e solidi.

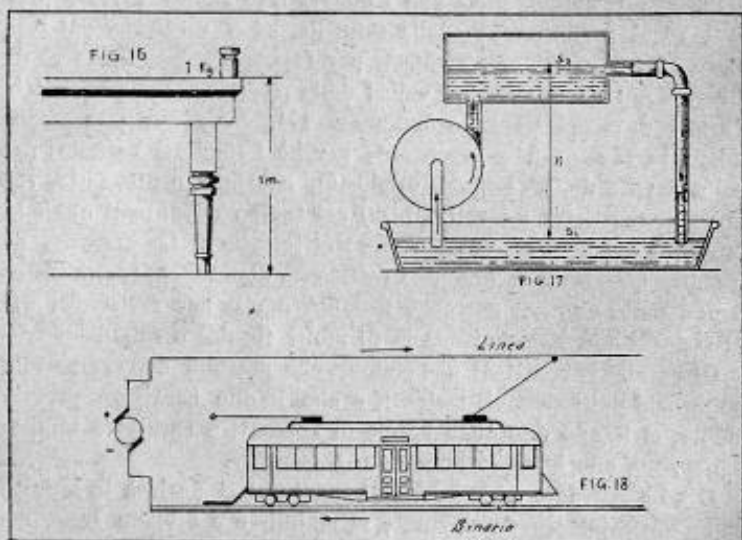
Oltre alle correnti di dispersione, che passano attraverso alla superficie dei materiali isolanti, e che hanno carattere permanente, si hanno due altre specie di correnti a carattere temporaneo, ma che è importante non trascurare.

1. « La corrente di spostamento » di cui si parlerà in seguito nel Parag. 29. Questa corrente si stabilisce e diviene trascurabile in un brevissimo tempo, non maggiore di pochi millesimi di secondo.

2. La « corrente di assorbimento » che persiste più a lungo e si manifesta quando a due piastre, che limitano uno strato di dielettrico, si applica una f. e. m. per mezzo di elettrodi come nel caso di un condensatore (parag. 31). Si ha in primo tempo una corrente di notevole intensità che va poi diminuendo col

tempo, prima rapidamente, poi più adagio. Tale corrente non è trascurabile in un intervallo di parecchie ore, ed è dovuta a probabili deformazioni delle molecole, sotto la sollecitazione della f. e. m. applicata.

C. Differenza di potenziale, f. e. m. e legge di Ohm.

13. **Significato fisico della f. e. m.** — Nel Parag. 2 fu stabilito che una delle quantità elettriche importanti è la forza elettro-motrice, che è la causa della corrente elettrica. Allo scopo di fissare nella mente l'idea del circuito elettrico, sarà utile

considerare poche illustrazioni, tratte da alcune esperienze a noi familiari. Supponiamo che un corpo del peso di un chilogrammo sia sollevato dal suolo e portato sopra un tavolino alto un metro (fig. 16). Il lavoro fatto per sollevare il corpo è dato da $1 \times 1 = 1$ chilogrammetro. Il corpo ha acquistato « energia potenziale » da questo cambiamento della sua posizione. È capace

cioè di ricadere al suolo da sè stesso e, nel ricadere, farà un lavoro esattamente uguale a quello speso per alzarlo.

La differenza di livello fra il pavimento e la tavola può essere espressa in due modi: 1) come si fa ordinariamente, determinando la distanza verticale lungo la quale il corpo fu sollevato; 2) misurando la quantità di lavoro richiesta per portare un chilogrammo di materia dal punto di livello più basso a quello di livello più alto. La differenza di livello stabilisce quindi una differenza di condizioni ben determinata fra le due posizioni. La posizione più alta, considerata come un punto nello spazio, ha una caratteristica, che la distingue dalla posizione più bassa, ed è la quantità di en rgia potenziale, posseduta da un corpo che vi sia stato sollevato. In altre parole un corpo posto in questo punto è capace di sviluppare, in virtù della sua posizione, una certa quantità di lavoro. Se supponiamo che un corpo abbia l'unità di massa, questa caratteristica si chiama «potenziale di gravitazione» del punto. Si dice che la posizione più alta ha un potenziale più elevato della posizione più bass, e la differenza di potenziale misurata in unità di lavoro è una misura della differenza di altezza.

Progredendo in questa illustrazione possiamo considerare il caso di una pompa, che elevi dell'acqua da un livello S_1 ad un livello più alto S_2 (fig. 17). L'acqua sollevata dalla pompa al livello S_2 possiede energia potenziale o energia di posizione: è capace cioè di ricadere da sè stessa al livello più basso, e nel cadere farà un lavoro esattamente eguale a quello, che fu fatto nel sollevarla. Invece di misurare come prima la differenza di livello in funzione dell'altezza h, ci si può riferire al lavoro compiuto nel sollevare un chilogrammo di acqua da S_1 a S_2. Questa differenza di livello si può chiamare differenza di potenziale fra S_1 e S_2.

La funzione della pompa è di trasformare l'energia fornita da una macchina a vapore o da una motrice di altro tipo in energia potenziale, in relazione alla corrispondente differenza di livello o di pressione. Per effetto dell'energia potenziale acquistata dall'acqua, si manifesta nella conduttura una forza idraulica

che produce o tende a produrre una corrente di acqua attraverso di essa.

Venendo ora al caso elettrico, supponiamo di fornire corrente elettrica ai motori di una vettura elettrica per mezzo di un generatore G, fig. 18, e due conduttori: il filo di linea e il binario. L'energia meccanica è fornita al generatore per mezzo di una opportuna sorgente, quale ad esempio una macchina a vapore, ed è trasformata in energia elettrica. Da questa trasformazione ha origine una corrente nel circuito, che si chiude attraverso la vettura eletrica. Questa condizione si definisce dicendo che vi è una differenza di potenziale fra i terminali del generatore e tra il filo di linea e le rotaie. Lo scopo di un generatore elettrico è di mantenere questa differenza di potenziale fra i suoi terminali, che corrisponde alla differenza di livello dell'acqua, di cui precedentemente abbiamo parlato. La differenza di potenziale elettrico è quindi una differenza di stato elettrico, che determina la direzione del passaggio di elettricità da un punto all'altro.

Nello stesso modo che l'altezza della colonna d'acqua o la differenza di livello si può considerare come la causa, che determina la forza motrice, cui è dovuta la corrente di acqua, che, ricadendo, circola nella conduttura, se le valvole sono aperte; così la differenza di potenziale elettrico può essere considerata come una forza elettromotrice, che produce un passaggio di elettricità, quando si stabilisce una via conduttiva. La forza elettromotrice si può definire come ciò che causa o tende a causare una corrente elettrica.

L'unità di forza elettromotrice è il volt. Essa è quella f. e. m. *che produce attraverso una resistenza di 1 ohm il passaggio della corrente di 1 ampere.*

La relazione che intercede fra la forza elettromotrice, la corrente e la resistenza è nota col nome di legge di Ohm. Di questa legge si parlerà in seguito nel prossimo paragrafo.

La differenza di potenziale fra due punti si può ricavare

dalla misura del lavoro compiuto nel trasportare una quantità unitaria di elettricità da un punto all'altro. In generale

$$E=\frac{W}{Q} \tag{9}$$

dove E è in volt, W è in joule, e Q in coulomb. In pratica però, essa si misura direttamente, inserendo opportunamente nel circuito uno strumento detto « volmetro » (Parag. 60)

14. Legge di Ohm. — Se si aumenta la pressione in una conduttura, cresce pure il numero dei litri di acqua, che passano al minuto attraverso ad una sua sezione. Ohm trovò che un aumento della forza elettromotrice applicata ad un dato conduttore produce nella corrente un aumento esattamente proporzionale. Raddoppiando la f. e. m., si produce una corrente esattamente doppia della prima, triplicando la f. e. m. si produce una corrente tripla, etc. Questo significa che, per un dato conduttore, il rapporto fra la f. e. m. e la corrente, è una costante, e questa costante dicesi resistenza del conduttore. Questa importante relazione è conosciuta come legge di Ohm e si può scrivere:

$$\frac{E}{I}=R \tag{10}$$

o, in altre forme:

$$E=RI \tag{11}$$

e

$$I=\frac{E}{R} \tag{12}$$

La legge di Ohm deriva la sua grande importanza dal fatto che si applica sia a ciascun tratto distinto di un circuito elettrico, sia al circuito intero.

Caso 1. Legge di Ohm per un tratto di circuito. — Supponiamo che, R, fig. 19, sia un tratto di circuito mantenuto ad una

temperatura costante, e che fra i punti A e B non sia inserita sorgente alcuna di f. e. m. Se da una sorgente esterna si manda corrente attraverso R, e si misurano la corrente e la tensione, si rilevano i dati seguenti, da cui risulta che il valore della resistenza R è di 2 ohm, e che per R costante la corrente è direttamente proporzionale alla tensione:

R Ohm.	E Volt.	I Ampere
2	1	$\frac{1}{2}$
	2	1
	4	2
	6	3
	8	4
	10	5

Tracciamo due linee rette OY ed OX perpendicolari fra loro [Fig. 20]. Dividiamo ciascuna retta in parti eguali e scriviamo in corrispondenza dei punti di divisione i numeri che definiscono gli intervalli considerati lungo le due rette. [1] I numeri sull'asse OY possono rappresentare i valori di E ed i numeri sull'asse OX i valori di I.

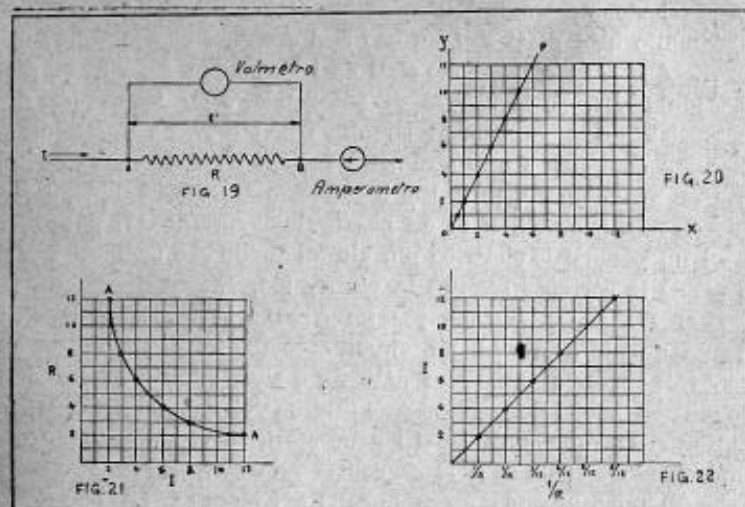
Dal punto *1* sull'asse delle E tracciamo la parallela all'asse OX, e dal punto $^1/_2$ sull'asse OX tracciamo la parallela all'asse OY. Segnamo il punto dove queste due rette si intersecano. Procediamo in questo modo per tutti i valori corrispondenti di E e di I della tavola sopra scritta e poi riuniamo i punti con una linea. Si vede che il rapporto di E ad I è lo stesso per ciascun punto della linea OP. Ciò significa che E ed I sono vincolati da un fattore costante, e si dice che I è direttamente proporzionale ad E. Questo procedimento è la rappresentazione grafica della relazione fra le due quantità E ed I. La proporzionalità è indicata dalla direzione rettilinea della linea tracciata.

---

(1) Queste rette si chiamano assi. OY è l'asse delle ordinate ed OX è l'asse delle ascisse. Una distanza misurata lungo OY dicesi una ordinata. Una distanza misurata lungo OX dicesi una ascissa.

Supponiamo ancora che ai terminali di R, Fig. 19, sia applicata una tensione costante E^1. Con opportuni mezzi variamo i valori di R fra limiti molto estesi, e registriamo le nostre osservazioni nel quadro seguente:

E Volt.	R. Ohm.	I Ampere
24	2	12
	3	8
	4	6
	6	4
	8	3
	12	2

Mettendo in diagramma, sopra un foglio di carta quadrettata, i valori di R ed I, Fig. 21, si otterrà la curva AA.

Possiamo pure segnare sull'asse delle ascisse i valori reciproci di R $(1/R)$ e sull'asse delle ordinate, continuare a prendere i

valori di I, Fig. 22. Si vede ora che I è direttamente proporzionale al reciproco di R, o in altre parole, I è inversamente proporzionale a R. Lo studioso dovrebbe fare alcuni esperimenti di questa specie con una cassetta di resistenza, una batteria, un amperometro e un volmetro: indi compilare un elenco accurato delle letture fatte e metterle in diagramma su carta quadrettata come si è sopra indicato. Da un tale studio risulterà che:

(*a*) Per una resistenza costante la corrente che passa è direttamente proporzionale alla tensione.

(*b*) Per una tensione costante la corrente è inversamente proporzionale alla resistenza.

Fa parte del linguaggio comune parlare di corrente che passa « in » un circuito; di resistenza « di » un circuito e della f. e. m. « fra i terminali » di, e « attraverso » una porzione di un circuito.

La relazione espressa dall'equazione (10) applicata ad un tratto di circuito è in pratica di un uso così corrente che al valore di E fra A e B (Fig. 19) sono stati dati vari nomi. Esso dicesi (*a*) la caduta RI, (*b*) la caduta di potenziale, o (*c*) la caduta di potenziale nella porzione di circuito fra A e B. Se un circuito derivato contenente uno strumento indicatore di corrente, come per es. un volmetro, (Fig. 19), è connesso fra questi due punti, si osserverà lo stabilirsi di un passaggio di corrente. Il punto A è ad un potenziale elettrico più alto di quello che compete a B; e perciò la corrente seguirà la via A, Vm, B.

Caso II. Legge di Ohm per un circuito completo. — Estendendo quanto sopra ad un circuito completo, dovremo tener conto di tutte le resistenze di esso, e cioè, oltre a quella dei conduttori anche della resistenza interna del generatore o della batteria, o di quella di tutti i generatori, se ve ne sono più di uno. Analogamente la f. e. m. considerata sarà la somma algebrica di tutte le forze elettromotrici del circuito. La legge di Ohm per il circuito completo si può allora scrivere nella forma:

$$I = \frac{\pm E_1 \pm E_2 \pm E_3 \pm \ldots\ldots}{R_1 + R_2 + R_3 \ldots\ldots\ldots\ldots} = \frac{E}{R} \qquad (13)$$

In questa equazione R è la somma di tutte le resistenze del circuito, comprese le resistenze dei generatori. Nello stesso modo E è la somma di tutte le forze elettromotrici, ciascuna col proprio segno. Si possono ad esempio avere alcune batterie in serie (Paragrafo 24), di cui una o più connesse nel circuito con i poli invertiti. Queste f. e. m. dovranno essere sottratte; da ciò il segno negativo nei termini del numeratore.

Un altro modo di esprimere questa legge generale, quando tutte le resistenze del circuito sono in serie, è di eguagliare la f. e. m. totale applicata al circuito alla somma delle cadute $R\,I$ in ogni singolo tratto di circuito.

$$E = RI = R_1 I + R_2 I + R_3 I + \dots\dots\dots \qquad (14)$$

La legge di Ohm deve essere considerata come una verità sperimentale, che è stata controllata da innumerevoli prove per tutti i metalli e liquidi conduttori. Non può essere usata per i gas a basse pressioni, nè per alcune sostanze non conduttrici come olii isolanti, gomma e paraffina.

15. Sorgenti di f. e. m. — L'energia elettrica può ottenersi in vari modi da altre forme di energia. Ciascuna di queste trasformazioni di energia determina le condizioni atte a produrre un passaggio di corrente, cioè genera una f. e. m. Le principali sorgenti di f. e. m. saranno trattate brevemente nei paragrafi seguenti.

Elettricità statica o di strofinio. — Quando strofiniamo un pezzo di ceralacca con della pelle di gatto, e poi separiamo i due oggetti, notiamo due fatti:

1. I corpi hanno entrambi acquistato nuove proprietà e si dicono elettrizzati.

2. Occorre una forza per separare i due corpi; e nell'allontanarli si compie un lavoro.

Ambo i corpi hanno ora la proprietà di attrarre delle leggere pagliuzze o dei pezzi di carta. Si dice che la gomma ha una carica negativa e la pelle una carica positiva. Queste cariche esistono in quantità eguali e riunite insieme si neutralizzano

l'un l'altra. Un corpo scarico dicesi neutro. Quando le cariche sono in riposo sui conduttori, si dicono cariche elettrostatiche. Cariche elettriche possono comunicarsi a leggeri corpuscoli quali palline di sambuco; e se queste sono sospese a fili di seta, gli effetti e le proprietà delle cariche si possono studiare in funzione dei movimenti compiuti dalle palline stesse. Due palline di sambuco con cariche opposte si attraggono l'un l'altra, e due con cariche eguali si respingono. La forza di attrazione o di repulsione è in ogni caso proporzionale al prodotto delle cariche ed inversamente proporzionale al quadrato della distanza. La forza è anche direttamente proporzionale al valore della costante dielettrica. (Par. 31).

Le forze elettrostatiche sono generalmente molto piccole. Vi sono altre sostanze, oltre alle due menzionate, che si caricano strofinandole con altri corpi. Poichè una di tali sostanze è il vetro, non si dovrà asciugare con un panno la superficie di vetro di uno strumento, che potrebbe caricarsi in misura tale da influenzare il leggero ago dello strumento stesso, e dar luogo ad un errore considerevole nella lettura. Nel caso ciò accadesse, si dissiperà la carica, soffiando sopra il vetro ed asciugandolo con un panno umido.

Se si collegano con un conduttore due corpi caricati con cariche di segno opposto, si stabilisce fra essi un passaggio momentaneo di corrente ed i due corpi assumono lo stesso stato elettrico. Se le cariche originali erano uguali i due corpi si sono scaricati.

Le esperienze di elettrostatica si eseguono meglio nelle giornate fredde, quando l'aria è asciutta.

Pile. — Quando due piastre metalliche, di due metalli diversi o l'una metallica e l'altra di carbone, si immergono in una soluzione di alcuni sali o acidi, si manifesta fra esse una differenza di potenziale. Se le parti emerse delle piastre, che diconsi elettrodi, sono riunite da un conduttore, si stabilisce fra esse una corrente. Il seguente elenco contiene i nomi di alcune delle sostanze, che si usano come elettrodi di pile, disposte in un ordine di successione tale che, nell'uso di due di esse, la cor-

rente passerebbe da quella, che precede a quella, che segue nell'elenco stesso.

+ Carbone.
  Mercurio.
  Rame.
  Ferro.
  Piombo.
  Cadmio.
  Stagno.
  Zinco.
— Magnesio.

Le soluzioni saline o acide usate, sono sostanze conducenti, ma la loro conduttività non è così alta come quella dei metalli. Esse si dicono « elettroliti » [1] Ne sono esempi le soluzioni di acido solforico, il solfato di rame, il cloruro di potassio ed il cloruro di sodio o sale comune. L'acqua delle ordinarie condutture contiene sostanze disciolte in quantità sufficiente per essere conduttrice di elettricità in tenue misura. Immergendo in una delle soluzioni menzionate una qualunque delle coppie di materiali dell'elenco, si produrrà una f.e.m. ed un passaggio di corrente.

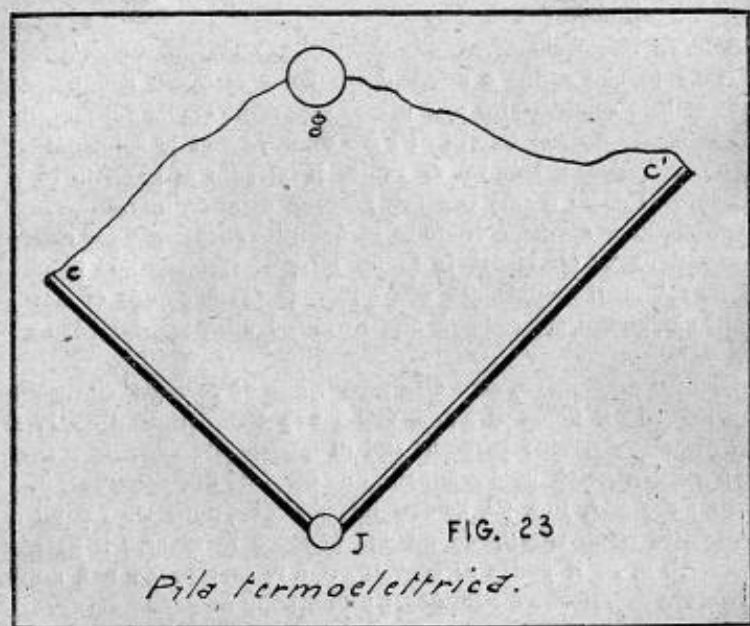
Questo dispositivo, atto alla produzione di correnti elettriche ha ricevuto il nome di « pila voltaica ». Nei paragrafi da 17 a 19 saranno descritti parecchi tipi di queste pile.

Termoelettricità. — Prendiamo due pezzi di due differenti metalli CJ e $C'J$, Fig. 23, saldati insieme al punto J. Le altre estremità siano riunite da un filo di rame attraverso il galvanometro g. Se il punto di contatto J è riscaldato ad una temperatura superiore a quella di C e C', notiamo un passaggio di corrente attraverso il galvanometro. Questo si spiega comunemente

---

(1) Gli elettroliti non soltanto sono sostanze conduttive dell'elettricità, ma, quando una corrente passa attraverso ad essi, le molecole dell'acido e del sale sono decomposte e rotte. La parte metallica della molecola od il suo idrogeno viaggiano sempre verso il terminale dal quale la corrente lascia la soluzione e vi si depositano. Questo è il fenomeno fisico fondamentale del processo galvanoplastico ed è in base a questo processo che fu definito l'ampere (Vedi Par. 5).

dicendo che nel contatto J, l'energia termica si trasforma in energia elettrica e questo contatto è considerato come sede di una f. e. m. Nel caso che la temperatura di J sia più bassa di quella di CC', il senso della corrente sarà invertito. Nell'elenco seguente alcuni metalli comuni sono in un ordine di successione tale che, scegliendone due qualunque per costituire un circuito di questo tipo, la corrente passerà attraverso il contatto riscaldato dal metallo scritto prima e quello scritto dopo nello elenco stesso.

Pila termoelettrica.

Bismuto.
Platino.
Rame.
Piombo.
Argento.
Antimonio.

La presenza nel punto di contatto di un metallo intermedio o lega, come saldatura, non influisce sul valore della f. e. m. sviluppata, perchè la f. e. m., che è prodotta dal contatto della lega con uno dei due metalli è annullato dalla f. e. m. di segno contrario, che si ha nell'altro contatto della lega coll'altro metallo. Una coppia termoelettrica di bismuto ed antimonio puri dà, per una determinata differenza di temperatura la forza termoelettromotrice più intensa. Tuttavia alcune leghe sono frequentemente usate invece di una o di entrambe queste sostanze. La purezza e lo stato fisico di questi materiali è un fattore importante per assicurare l'uniformità dei risultati. Una coppia termoelettrica può essere tarata con un galvanometro; si può cioè tracciare la curva dei microvolt in funzione delle temperature. Da ciò deriva che la coppia termoelettrica è un buon dispositivo per misurare le temperature, specialmente quando non possono usarsi altre forme di tormometri. Per l'intervallo di temperature compreso fra la temperatura dell'aria liquida — 190° *C.*, e 200° e 300° *C.*, si usano spesso coppie termoelettriche costituite dalla lega «advance» con rame ovvero con ferro. Per alte temperature superiori ai 1700° *C.*, si usa una coppia termoelettrica di platino od una lega di platino-rodio.

Le coppie termoelettriche trovano applicazione negli amperometri a filo caldo per misure radiotelegrafiche. (par. 59).

Fem. Indotta. — Si può produrre in un circuito una f. e. m. con la spesa di lavoro meccanico; spostando dei fili conduttori attraverso a linee di forza magnetica (paragr. 45). Anche quando la corrente elettrica varia in un circuito, prossimo ad un altro, si produce in quest'ultimo una fem. per effetto della variazione di corrente, che si è avuta nel primo.

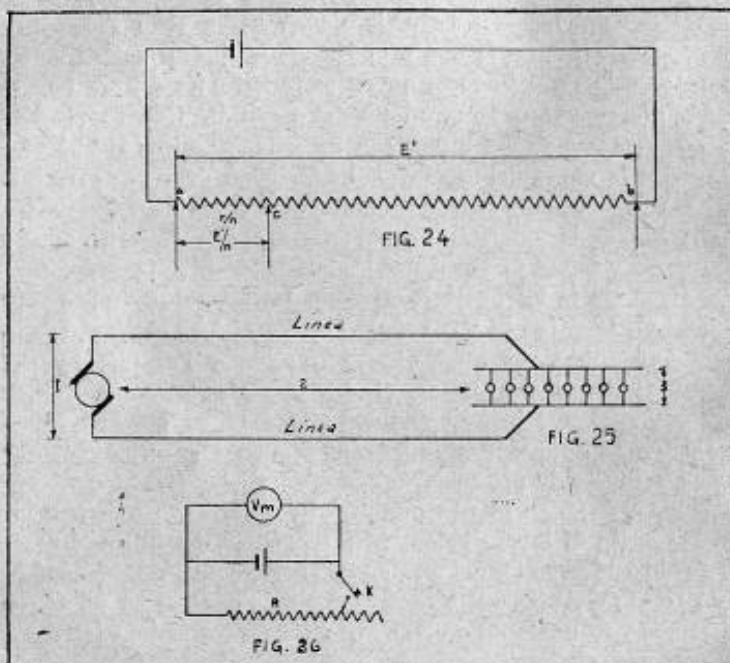
I principî che si applicano a questi casi sono ampiamente trattati nei paragrafi 45 e 47. Lo sviluppo del macchinario basato sopra questi principî è l'argomento del capitolo 2.

La Caduta RI. — Quando per qualche scopo si desidera una tensione, che sia minore di quella fornita dalla pila o dal generatore disponibile, o si voglia una tensione prontamente regolabile a determinati valori, è spesso conveniente trarre vantaggio

dalla caduta RI attraverso una resistenza data, come si è detto nel paragrafo **14**, e disporre un circuito come nella figura 24. La corrente, che dalla pila passa attraverso la resistenza ab, può essere regolata a qualunque valore richiesto, scegliendo opportunamente il valore di ab.

Poichè la caduta di tensione lungo ab è direttamente propor-

zionale alla resistenza r, per avere un valore di tensione che sia $\frac{1}{n}E'$, basta porre il contatto C in un punto tale che la resistenza ac sia eguale a $\frac{1}{n}$ r. Questo deriva dall'equazione (10), dalla quale si vede che la fem. attraverso una resistenza qualunque è direttamente proporzionale a questa resistenza, fintan-

tochè la corrente rimane costante. Quanto sopra è sufficientemente vero agli scopi pratici, purchè si possa supporre che la resistenza di *ab* sia relativamente notevole rispetto alla resistenza interna della batteria. La resistenza *ab* può essere costituita o da una cassetta di resistenza con un contatto mobile in *c*, o da un filo uniforme omogeneo, con un punto di contatto spostabile in *c*. Un dispositivo di questo genere per variare la tensione si dice « riduttore di tensione » per quanto spesso erroneamente si indichi colla parola « potenziometro ».

F. e. m. campione. — Le forze elettromotrici delle pile ordinarie sono generalmente tra 1 e 2 volt. È stato scelto, in seguito ad accordo internazionale, un tipo di pila campione di f. e. m. Il tipo ora più usato è la pila campione Weston, perchè fu proposta da Weston. Si dice pure « pila al cadmio » perchè come elettrodo negativo è usato il cadmio. Questa pila è formata di elementi chimici di grande purezza accuratamente scelti, e se usata alla temperatura di 20 *C.*, dà, coll'approssimazione di alcuni centomillesimi, la forza elettromotrice di 1,0183. La misura dei volt si ottiene per paragone da pile campioni conservate nei laboratori internazionali.

16. Caduta di tensione interna e caduta di linea. — L'equazione (12) a pagina 33, dimostra che la tensione o fem. di un generatore, sia esso una pila o una dinamo, può sempre immaginarsi distribuita in tre parti, come segue:

1. Una parte, che mantiene la corrente attraverso il generatore e che dicesi « caduta interna ».

2. Una parte, che mantiene la corrente lungo la linea, e che dicesi « caduta di linea ».

3. Una parte, che mantiene la corrente attraverso i terminali di apparecchi, come lampade, motori o bollitori. Questa è la parte utile della f. e. m., poichè le prime due si dissipano in punti lontani da quelli in cui il lavoro utile è prodotto. Questa suddivisione della f. e. m. è illustrata dalla figura 25. Poichè la parte 3 di f. e. m. è quella, che lavora nel circuito esterno, è chiaro che il generatore deve sempre provvedere una tensione più alta di quella che occorre avere disponibile ai terminali, per poter te-

ner conto delle perdite 1 e 2. Possiamo quindi scrivere che:

F. e. m. totale = caduta nel generatore + caduta nella linea + caduta utile nell'apparecchio utente.

Caduta di tensione nella batteria o nel generatore. Immaginiamo un circuito come quello indicato in figura 26. Sino a che l'interruttore K è aperto, la pila non manda corrente attraverso al circuito R. Un volmetro ad alta resistenza Vm dà la lettura E, che è la tensione della pila a circuito aperto. La corrente nel volmetro è così piccola che si può dire che la pila non manda corrente nel volmetro. Se, senza togliere da posto il volmetro, si chiude la chiave K, attraverso il circuito esterno R passerà una corrente I, e si vedrà diminuire la lettura del volmetro ad un valore E' minore di E. Diminuendo R il valore di E' decresce in corrispondenza, fino a quando $R = O$, cioè fino a che i poli della pila sono cortocircuitati ed il volmetro non dà alcuna deviazione. Il volmetro indica ad ogni istante il valore della tensione esistente ai terminali della pila, tensione che può variare dal valore a circuito aperto, o f. e. m. E, a zero, dipendentemente dalle condizioni del circuito esterno. Per ogni valore di R la corrente che passa è data dall'equazione:

$$I = \frac{E}{r+R} \qquad (15)$$

dove r è la resistenza interna della pila, o

$$E = RI + rI \qquad (16)$$

Così la f. e. m. E è uguale alla somma della caduta di potenziale nella pila e della caduta RI nel circuito esterno. Indicando RI con E' possiamo scrivere l'equazione (15) nella forma:

$$E' = E - rI \qquad (17)$$

La quantità E' si dice « differenza di potenziale ai terminali » o « tensione ai terminali » della pila, ed è sempre minore della

f. e. m. totale della caduta RI nella pila stessa. Essa si può definire come la parte utile della f. e. m. o come la parte di f. e. m., che mantiene la corrente nel circuito esterno.

La f. e. m. E dipende dai materiali usati nella pila, e per un dato tipo di pila, è una quantità invariabile. La tensione disponibile nel circuito esterno si può tuttavia far variare da E a zero. Dispositivi speciali intesi a diminuire la resistenza interna delle pile, come il porre molte pile in parallelo, (paragrafo 24) fanno abbassare la caduta RI ed aumentare corrispondentemente la tensione E' ai terminali. Sottratta la caduta RI alla f. e. m. totale, la tensione ai terminali della pila è la f. e. m. residua utile a produrre lavoro nel circuito esterno, ossia è la parte di f. e. m. che equilibria la caduta di tensione nel circuito esterno. La corrente emessa dalla pila deve considerarsi come fluente nell'intero circuito. Aumentando il valore di I, aumenta la caduta di tensione interna della pila e la frazione di f. e. m. utile nel circuito esterno viene corrispondentemente ridotta.

Quello che si è detto per una pila vale per ogni altra forma di generatore.

Caduta di tensione nella linea. — Supponiamo che un generatore a corrente continua capace di dare 115 volt alla linea di partenza di una centrale, fornisca corrente ad un edificio lontano per l'accensione di lampade, che richiedano 110 volt. Poniamo che la resistenza della linea sia di 0,1 ohm e che le lampade complessivamente richiedano una corrente di 50 ampere. Si ha una caduta di linea di 5 volt, e la tensione utile al generatore è esattamente quella occorrente a far funzionare le lampade alla loro tensione. Se tuttavia nello stesso edificio mettiamo in funzione per esempio il motore di un elevatore elettrico, che richieda una corrente di 100 ampere, la caduta di linee aumenterà di 10 volt e sarà in totale 15 volt, e la tensione utile ai terminali della linea nell'edificio cadrà a 100 volt. Questa tensione non è sufficiente a mantenere le lampade alla loro completa luminosità, e le vedremo offuscarsi in misura percettibile, ogni qual volta l'elevatore è messo in funzione. Per riparare a questo inconveniente, la linea primitiva deve essere

rimpiazzata da un'altra di resistenza più bassa; cioè la caduta di linea deve essere diminuita in modo che, per la massima corrente richiesta, le lampade non cadano sotto i 110 volt. (1)

Un altro esempio di caduta di linea, si ha nell'arrossarsi della luce nelle vetture tramviarie, all'istante della partenza.

La resistenza del trolley si mantiene bassa usando una forte sezione trasversale di rame, e parimente si cura di conseguire la minor resistenza possibile nelle rotaie, sistemandone accuratamente i giunti. Tuttavia la presenza di pochi giunti difettosi è sufficiente ad aumentare la resistenza del binario e la caduta di linea in misura tale, che, alla partenza della vettura, per effetto dell'erogazione dalla linea della intensa corrente di avviamento, non si riesce a mantenere le lampade alla tensione necessaria.

D. Pile ed Accumulatori.

17. Vari tipi di Pile. — Un aggruppamento di pile, riunite in modo da produrre un effetto maggiore di quello prodotto da una pila sola, costituisce una batteria. Si vide che la pila è un dispositivo per convertire l'energia chimica in energia elettrica. Vi sono due tipi principali di pile. Uno, nel quale l'effetto utile può essere rinnovato soltanto introducendo nuove quantità delle sostanze chimiche agenti, e dicesi pila « primaria ». L'altro, nel quale le sostanze chimiche necessarie possono essere rinnovate mediante un processo di carica, per esempio inviando corrente attraverso la pila in una direzione opposta a quella della corrente che produce la pila stessa. Tali pile si dicono « secondarie » od « accumulatori ». Esse si possono adoprare molte volte di seguito senza introdurre nuove sostanze chimiche; se raggruppate fra loro, costituiscono una batteria di accumulatori. Se ne tratterà più estesamente al paragrafo 21.

---

(1) *Problema.* — Supponendo che la distanza da una centrale alle lampade sia di 450 m. calcolare la resistenza di linea necessaria per mantenere le lampade alla tensione di 100 volt. Trovare pure la sezione del filo di rame, che dovrà usarsi per questa linea.

18. Pila Primaria Semplice. — Se una piastra di zinco puro ed una piastra di rame, non in contatto fra loro, si immergono in acido solforico diluito, non ha luogo alcuna reazione chimica. Quando si collegano le piastre mediante un filo od altro conduttore fuori del liquido, nel filo passa una corrente e nella pila ha luogo una reazione chimica. L'acido solforico intacca lo zinco, formando solfato di zinco e l'idrogeno liberato dall'acido si porta sulla piastra di rame. La direzione della corrente che passa, è: dalla piastra di rame lungo il circuito metallico alla piastra di zinco, e di qui attraverso l'acido alla piastra di rame. Si dice arbitrariamente che la direzione della corrente nel circuito esterno è dal rame o piastra positiva allo zinco o piastra negativa. Nello schema della figura 27, Pag. 48, la piastra positiva è indicata col segno (+) e la piastra negativa è indicata col segno (—). Se si inserisce nel circuito un amperometro o un voltmetro, il suo terminale positivo va connesso alla piastra positiva della pila.

Ogni pila primaria ha due piastre chiamate «elettrodi» o poli, ed un liquido chiamato «elettrolito». Gli elettrodi sono metalli o carbone, e non possono essere della stessa sostanza. Gli elettroliti comunemente usati sono le soluzioni di acido solforico, di solfato di rame, cloruro di ammonio ed altri cloruri.

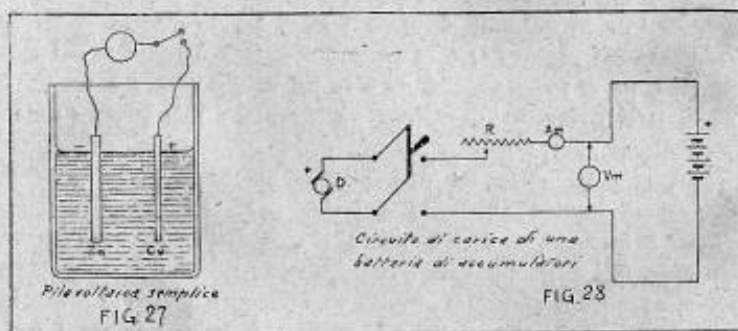
La tensione fornita dalle pile usuali è compresa fra 1 e 2 volt per ciascuna pila. Essa dipende sopratutto dalla coppia di sostanze usate come elettrodi e in parte anche dall'elettrolito. Nelle pile ad elettrodi di rame e zinco si ha una grande varietà di elettroliti, ma tutti danno a circuito chiuso la tensione di circa 1 volt per pila. Spesso per provvedere una sorgente occasionale di f. e. m. si prendono due piastre di differenti metalli, e si immergono in qualche acido, che non li attacchi violentemente, o anche nell'acqua.

Reazione locale. — Quando si pone un pezzo di zinco puro in una soluzione di acido solforico, si osserva che non ha luogo alcuna reazione chimica e non si ha sviluppo di idrogeno. Quando invece la piastra di zinco contiene delle impurità, come particelle di ferro e carbone, appena lo zinco è posto nell'acido la

reazione è evidente. La ragione di ciò sta nel fatto che ogni particella estranea, esistente sulla superficie dello zinco, reagisce con una particella contigua di zinco, come una pila voltaica: si hanno in conclusione molte piccolissime pile, che si esauriscono tutte insieme nel produrre correnti locali, che sono essenzialmente dannose. Questa reazione locale nella pila ordinaria non contribuisce affatto all'energia utile erogata dalla pila stessa.

Polarizzazione. — La corrente fornita da una pila non resta costante, ma comincia a diminuire, non appena si chiude il circuito. Durante il passaggio della corrente l'idrogeno liberato dall'acido si accumula in forma di piccole bolle sulla piastra di

Pila voltaica semplice
FIG 27

Circuito di carica di una batteria di accumulatori
FIG 28

rame; diminuisce così la superficie di contatto del liquido col rame, ed aumenta la resistenza della pila; diminuisce inoltre anche la tensione generata nella pila. La riduzione della tensione generata e l'aumento di resistenza fanno diminuire la corrente. Questo fenomeno dicesi polarizzazione. L'effetto scompare qualche tempo dopo l'apertura del circuito, con una graduale diffusione dell'idrogeno liberato dalla superficie del rame. Si può impedire il fenomeno della polarizzazione, ponendo qualche sostanza intorno alla piastra di rame, allo scopo di rimuovere l'idrogeno o impedire la sua formazione. Perciò le pile primarie contengono, in aggiunta all'elettrolito, una sostanza chimica detta « depolarizzante ».

L'azione del depolarizzante è limitata alla piastra positiva:

perciò il depolarizzante è mantenuto in vari modi fuori contatto dalla piastra negativa. Nella « pila a gravità », una delle forme della pila di Daniell, menzionata nella tavola riportata in appresso, il depolarizzante è una soluzione di solfato di rame, che, essendo più denso dell'elettrolito, rimane in fondo al vaso. Il rame è immerso nel depolarizzante nella posizione più bassa possibile e lo zinco nell'elettrolito verso le superficie libera. Un altro metodo per mantenere il depolarizzante lontano dall'elettrodo negativo è di usare un vaso a parete porosa, attraverso il quale la corrente passa agevolmente, ma i liquidi si diffondono con difficoltà. Questa parete può essere di carta, di panno, o di porcellana porosa.

Requisiti di una buona pila primaria. — Per gli usi ordinari conviene che una batteria di pila dia la maggior f. e. m. possibile. La f. e. m. dipende dai materiali scelti per le piastre, e in parte dalla loro grossezza e disposizione. Se si richiede un elevato valore di corrente, la resistenza interna della pila deve essere bassa. La resistenza interna dipende dall'elettrolito scelto e anche dalla sezione e disposizione delle piastre. Le condizioni necessarie per avere una resistenza interna bassa sono: piastre grandi, assai ravvicinate e poste in un elettrolito avente una piccola resistività di volume. Una f. e. m. costante è possibile soltanto se la pila è esente da polarizzazione. L'economia nel funzionamento dipende da una limitata spesa di impianto dei materiali e dalla facilità di consumo dovuto alla reazione locale. Il funzionamento della batteria non dovrebbe produrre vapori sgradevoli e nocivi. Le pile a secco, descritte più avanti, hanno tutti i requisiti summenzionati, ma hanno l'inconveniente di polarizzarsi.

19. Tipi di Pile Primarie.

Pila per servizio continuo. — Le pile, che si impiegano a circuito elettrico chiuso per lunghi periodi di tempo, debbono essere particolarmente esenti da polarizzazione; vale a dire devono avere un efficace depolarizzante intorno alla piastra positiva per impedire all'idrogeno di depositarvisi. Nella seguente tavola sono date la composizione, la tensione generata e la resistenza approssimata di alcuni tipi di pile.

Nome	Elettrodo posit.	Elettrodo neg.	Elettrolito	Depolarizzante	Volt.	Resistenza Interna ohm
Daniell.	Rame	Zinco	Acid. Solforico	Solfato di Rame	1,1	1.
All'acid. cromico	Carb.	Zinco	Acid. Solforico	Perossido cromico.	2,0	0,2
Edison-Lalande.	Rame	Zinco	Potassa caustica	Ossido di rame	0,8	0,02
Al cloruro d'argento	Argento	Zinco	Cloruro di ammonio	Cloruro d'argento.	1,0	2.

La pila a cloruro d'argento è classificata come una pila a secco, essendo fatta in modo che l'elettrolito non può versarsi: essa ha una durata maggiore di quella dei tipi più comuni di pila a secco descritti in appresso.

Pile per servizio intermittente. — Per azionare campanelli, o suonerie, apparati telefonici o dispositivi di ignizione, si può usare una pila primaria a depolarizzante poco energico. La pila può riprendersi della avvenuta polarizzazione, durante gli intervalli di riposo, con l'aiuto di un agente depolarizzante. Il tipo di pila universalmente usato per tale servizio è quello a sale ammoniaco, avente carbone come elettrodo positivo e zinco come negativo, cloruro d'ammonio (sale ammoniaco) come elettrolito, e biossido di manganese come depolarizzante. La tensione generata è circa 1,5 volt.

20. **Pile a secco.** — La pila a sale ammoniaco si usa ora generalmente nella forma della cosidetta pila a secco. La soluzione di sale ammoniaco è contenuta in una sostanza assorbente e la pila è ermeticamente chiusa, cosicchè il versamento del liquido è impossibile.

Lo zinco funziona da recipiente essendo costituito da un lamierino dello spessore di circa 0,045 cm. a forma di tazza. L'elettrodo positivo è una grande bacchetta di carbone nel centro della pila, immersa in un miscuglio di biossido di manganese e carbone, che occupa la maggior parte dell'interno della pila. L'elettrolito, soluzione di sale ammoniaco, è trattenuto in parte

dal miscuglio depolarizzante e in parte da un tramezzo, che è posto fra lo zinco e il depolarizzante. Il tramezzo nelle grandi pile americane è generalmente un sottile setto poroso. Nelle piccole pile e in quasi tutte le pile europee è una borsa di panno, separata dallo zinco tutt'intorno da una porzione di elettrolito ridotto in pasta.

Una pila a secco, molto comune in commercio, è alta 15 cm., ha il diametro di 6,5 cm. e pesa circa 900 grammi. Vi sono due tipi principali di pile a secco: pile di accensione per servizio pesante, e pile telefoniche per servizio leggero e intermittente. Vi è pure una pila intermedia per servizio generale avente caratteristiche intermedie a quelle delle due precedenti. Le pile di accensione, quando nuove o poco usate, forniscono, se i due poli si chiudono in corto circuito, una corrente istantanea di circa 30 ampere; la loro durata non è superiore ai 6 mesi.

Le pile telefoniche danno in un momentaneo corto circuito circa 20 ampere. Esse durano più lungamente delle pile destinate a servizio pesante, e la loro vita é ordinariamente di circa un anno.

Le pile a secco tipo « miniature » usate per ottenere luci intermittenti e per batterie anodiche di valvole termoioniche di bassa potenza, sono di dimensioni, che variano da 4 a 10 cm. di altezza, e pesano da 14 a 100 grammi. La loro efficienza si limita soltanto a pochi mesi.

La tensione generata da una pila a secco nuova è da 1,5 a 1,65 volt. Una pila a secco nuova, che dia meno di 1,45 volt, è certamente guasta. Quando la pila dà corrente, la tensione ai suoi terminali è minore dei valori suddetti, perchè parte della tensione generata si consuma nella resistenza interna della pila. (par. 16).

Una pila è capace di fornire una potenza, che in parte cresce coll'aumentare della temperatura. Però più elevata è la temperatura, più rapidamente una pila inattiva si esaurisce. È quindi in generale preferibile mantenere una pila a secco ad una temperatura inferiore ai 25° *C.*

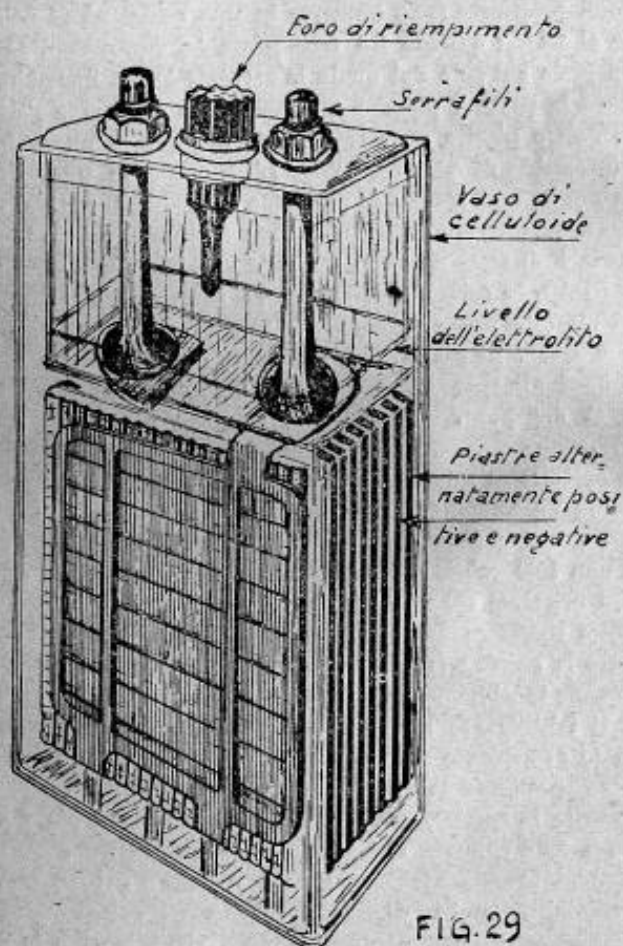
Le batterie di pile a secco si prestano particolarmente a fornire:

(a) una corrente relativamente intensa per un breve intervallo di tempo *(b)* una debolissima corrente per un lungo tempo: per effetto della loro rapida polarizzazione non possono fornire per lungo tempo correnti di intensità costante a lampade e motori. Le batterie di accumulatori sono più adatte a questo genere di impiego.

21. **Accumulatori.** — La differenza essenziale fra la pila primaria precedentemente descritta e la secondaria o accumulatore sta nel modo di rinnovare il materiale attivo delle piastre. Quando la pila primaria è esaurita, si rimette in efficienza, rinnovando l'elettrolito, e sostituendo la piastra di zinco usata con una nuova. Le pile a secco non possono essere rinnovate. Negli accumulatori invece, lo stato chimico originario delle piastre è ristabilito per mezzo di una corrente fornita da una sorgente esterna, di segno opposto a quello della corrente erogata dall'elemento. Quando l'elemento fornisce corrente, si dice che si scarica. Quando invece riceve corrente da qualche sorgente esterna si dice che è sotto carica. Nella Fig. 28 è rappresentato uno schema di circuito per la carica di accumulatori. Il polo positivo della dinamo *D* è collegato attraverso all'amperometro e al reostato *R* al polo positivo della batteria; la corrente di carica ha quindi direzione contraria a quella della f. e. m. della batteria. Ciò è molto importante. Uno sbaglio nelle connessioni può definitivamente rovinare la batteria. Le batterie di accumulatori hanno generalmente resistenze interne basse e quindi forniscono correnti relativamente intense. Sebbene questo costituisca un vantaggio, si deve tener presente il pericolo di correnti eccessive in caso di corti circuiti accidentali. Le variazioni di tensione durante il periodo di scarica sono piccole, e quindi si possono avere correnti di intensità quasi esattamente costante. Si hanno due tipi di accumulatori di uso comune: *(a)* a piastra di piombo, elettrolito acido; *(b)* a piastra di nichel e ferro, elettrolito alcalino. Questi due tipi di accumulatori saranno descritti nei paragrafi seguenti.

Elemento a piastra di piombo ed elettrolito acido. — In questo tipo di accumulatore (Fig. 29) le piastre sono di piombo, ed

hanno sulle due facce nervature longitudinali e traversali, che

FIG. 29

danno ad esse l'aspetto di griglie. Fra le nervature delle piastre

è compressa una pasta, ottenuta mescolando dei sali di piombo (minio, Pb_3O_4 e litargirio, PbO) con acido solforico. Le due piastre così preparate sono immerse in una soluzione di acido solforico al 20 %; quando fra esse passa la corrente, l'idrogeno si accumula sul polo dal quale la corrente lascia l'accumulatore e riduce la pasta a piombo spugnoso. Nel frattempo l'ossigeno va sull'altra piastra e ne trasforma la pasta in un ossido più alto (perossido di piombo, PbO_2). L'elemento in questo istante ha in effetti una piastra di perossido di piombo (positiva) ed una piastra di piombo spugnoso (negativa). A circuito aperto la f. e. m. prodotta è di circa 2,2 volt: ma cade rapidamente a circa 2 volt.

Interrotta la corrente di carica, se inseriamo l'accumulatore in un circuito, esso dà corrente in una direzione opposta a quella della corrente di carica. Col procedere della scarica la tensione cade gradualmente. La scarica non dovrebbe mai essere portata al di là del punto nel quale la tensione a circuito aperto è di 1,75.

Le batterie di accumulatori a piastra di piombo hanno generalmente un numero di piastre negative, che supera quello delle piastre positive di una piastra. L'involucro è costituito di materiale non intaccabile dall'acido, come vetro e gomma dura. Le piastre negative sono di un colore verde cupo e le positive di un color rossastro scuro. Le reazioni chimiche, che avvengono durante la carica e la scarica, richiedono tempo, ed i processi non si possono indebitamente affrettare senza nuocere all'accumulatore. Il fabbricante specifica sempre l'intensità normale della corrente di carica e scarica, e se si trascura questa precauzione sono compromesse la vita e l'efficienza dell'elemento.

Durante la scarica, fra l'acido solforico ed il piombo si ha una reazione chimica, che conduce alla formazione di solfato di piombo. Questa reazione logora l'acido e nel contempo la densità dell'elettrolito diminuisce. Quando si carica nuovamente l'accumulatore, l'acido solforico viene ripristinato e la densità aumenta. Per provare la densità delle soluzioni delle batterie si usa uno strumento chiamato « densimetro ». La densità dell'elettrolito è la migliore indicazione della condizione di carica

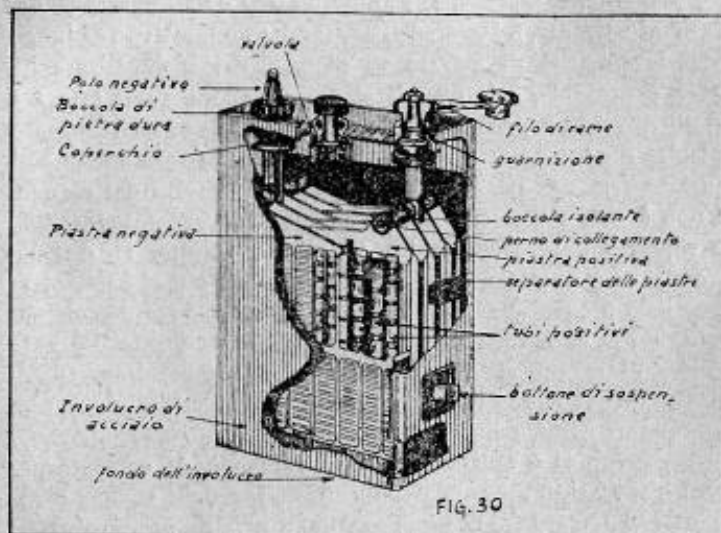
e scarica dell'accumulatore. I fornitori danno, per ogni tipo di accumulatore, le opportune indicazioni sull'esatto valore della densità. Il solfato di piombo è di colore bianco grigiastro, esso è insolubile nell'acido solforico e non è un conduttore dell'elettricità: ricaricando l'accumulatore, si ha la reazione inversa, ossia il solfato di piombo si scinde in Pb e H_2 SO_4. Se l'accumulatore si carica e si scarica anche molte volte, ma ad una conveniente intensità di córrente, la quantità di solfato di piombo, che si forma, è piccola e non essenzialmente nociva. Invece, caricando e scaricando l'accumulatore ad un'intensità eccessiva di corrente, o lasciando l'accumulatore inattivo per lungo tempo, la quantità di solfato di piombo, che si deposita sulle piastre, è notevole, e le piastre si dicono allora «solfatate.» I cristalli di solfato producono sforzi, che tendono ad incurvare le piastre e ad asportare il materiale attivo, affrettandone così la disintegrazione. Le zone delle piastre ricoperte dal solfato, che non è una sostanza conduttrice, sono praticamente inattive, e la capacità dell'accumulatore ne risulta ridotta. È difficile porre riparo a questa condizione di cose, dopo che si é prodotta; si può solo prevenire, seguendo accuratamente le regole date dal fornitore per la carica, la scarica e la manutenzione. Durante la carica l'idrogeno si libera e forma coll'aria una miscela esplosiva. Durante la carica non si dovranno perciò portare vicino agli accumulatori fiamme libere.

Si disse che vi è una determinata intensità di corrente per la carica e scarica, indicata dal fornitore, per ogni tipo di accumulatore Aumentando la grossezza delle piastre, possono usarsi correnti di carica e scarica più intense. La capacità di una batteria di accumulatori si misura in «ampere-ore» (indicazione abbreviata «amp. ore»). Per esempio, un accumulatore di 40 amp. ore può dare un ampere per 40 ore o 10 ampere per 4 ore. Perciò, se la corrente normale di scarica di questo accumulatore è 5 ampere, esso non dovrebbe caricarsi nè scaricarsi ad un valore di corrente maggiore, bensì a 5 ampere per 8 ore.

La capacità in ampere-ore dipende dalle dimensioni delle piastre e dallo spessore del materiale attivo. L'efficienza relativa

dei vari tipi di accumulatori è espressa in ampere-ore per unità di peso dell'accumulatore. Tale efficienza non è molto differente per i due tipi suddetti di accumulatore, purchè entrambi abbiano avuto un trattamento regolare ed accurato. È specialmente da evitarsi che gli accumulatori siano messi in corto circuito, perchè a causa della loro bassa resistenza, possono essere attraversati da correnti troppo intense, che li rovinerebbero.

Elemento a piastre di ferro-nichel ed elettrolito alcalino. — In questo tipo di accumulatore, Fig. 30, ideato da Edison, la pia-

FIG. 30

stra positiva è formata da strati alternati di idrato di nichel e di nichel puro, contenuti entro tubi forati di ferro nichelato, montati in un telaio di acciaio. La piastra negativa è costituita da un telaio, tra le cui nervature è compresso dell'ossido di ferro. Le piastre sono immerse in una soluzione al 20 % di potassa caustica in acqua, ed il tutto è chiuso ermeticamente in un recipiente saldato di lamierino d'acciaio. L'elettrolito agisce solamente come veicolo di ossigeno fra le piastre, e non forma

composti chimici coi materiali attivi. La sua composizione e la sua densità rimangono praticamente costanti durante la carica e la scarica. La tensione durante la carica arriva a 1,8. Quando la scarica comincia, la tensione cade subito a circa 1,4 ; poi diminuisce più gradualmente, mantenendosi in media a circa a 1,2 fino a scarica ultimata. La scarica non dovrebbe essere spinta al disotto di una tensione, a circuito aperto, di 0,9. Durante il processo di carica si sviluppa l'idrogeno, che coll'ossigeno forma una miscela esplosiva; vicino agli accumulalori non devono quindi portarsi fiamme libere. Il livello della soluzione deve essere mantenuto al disopra del bordo superiore delle piastre. Se, dopo ripetuti periodi di carica e scarica, si trova che la densità dell'elettrolito é scesa ad 1,16, gli accumulatori debbono essere completamente scaricati, e l'elettrolito cambiato.

Confronto dei due tipi. — Se l'elemento a piastre di piombo non è caricato e scaricato entro i limiti di corrente, caratteristici per ciascun tipo, ed in un modo regolare ed accurato, si deteriora rapidamente. L'accumulatore di Edison invece mantiene la sua efficienza anche con trattamento poco regolare. Se si lascia in riposo un accumulatore a piastre di piombo, che sia stato completamente caricato, si scarica in poche settimane, e la sua capacità diminuisce considerevolmente. Esso subisce una perdita di capacità ancora maggiore, se lasciato in riposo scarico o in condizione di scarica parziale. L'elemento Edison al contrario conserva la sua carica per un lungo periodo di riposo, senza guastarsi, tanto se in istato di carica totale, quanto se parzialmente scaricato. Un vero e proprio corto circuito non danneggia un accumulatore Edison, ma danneggia seriamente un accumulatore a piombo. L'accumulatore Edison può essere caricato e scaricato in misura molto differente dalla normale, senza guastarsi. Invece l'elemento a piombo deve essere caricato e scaricato ad una intensità di corrente molto prossima a quella normale. Nell'elemento a piombo l'acqua, usata per rimpiazzare le perdite per evaporazione, deve essere pura. Nell'accumulatore Edison al contrario si può usare anche acqua impura, purchè libera da acidi e solfuri.

Nella carica bisogna portare a circa 2,5 volt un accumulatore a piombo, e a circa 1,75 volt un accumulatore Edison. Se la tensione della linea non è sufficiente per caricare tutti gli accumulatori in serie, si dividono in gruppi, ed i gruppi si dispongono in parallelo.

Si può verificare la polarità della linea di carica con un volmetro, sul quale sono sempre segnati i terminali + e —. Se non si dispone di un volmetro portatile, si possono immergere i due fili della linea in un vaso di acqua acidulata: attorno al filo negativo si svolgeranno bolle gassose molto più rapidamente che intorno al filo positivo. Per la ricerca della polarità si può anche ricorrere al metodo seguente: immergere in una soluzione acquosa di ioduro potassico due striscie di carta: avvicinare alle due striscie a pochi centimetri (evitando il contatto diretto) i due fili di linea: la striscia prossima al polo positivo si colorirà in scuro. Per evitare l'essiccarsi della soluzione, vi si può aggiungere della glicerina. Nel circuito di prova dovrebbe includersi anche una lampada, per premunirsi contro un corto circuito, dovuto a contatto dei terminali.

22. **Resistenza interna delle pile e degli accumulatori.** — Nel paragrafo 16 si è detto che la tensione o f. e. m. di una batteria di pile o accumulatori a circuito aperto è sempre maggiore della tensione misurata ai terminali, quando la batteria sta erogando corrente. La relazione tra la f. e. m. E, la tensione ai terminali E' e la resistenza interna r, è data dalla formula,

$$E - E' = rI \tag{17}$$

Inoltre la tensione da applicare ai terminali di un accumulatore sotto carica deve essere maggiore della f. e. m. dell'accumulatore stesso, tenuto conto della caduta di tensione che si ha nell'accumulatore. Indicando con E'' la tensione di carica, e conservando agli altri simboli il precedente significato,

$$E'' - E = rI \tag{18}$$

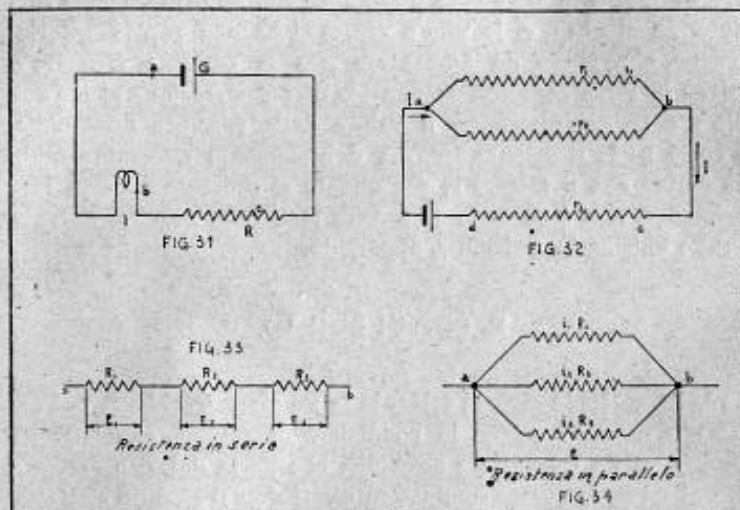
La resistenza interna di una pila o di un accumulatore si può calcolare in base ai valori della corrente e della tensione, a cir-

cuito aperto e chiuso. Il volmetro usato in queste misure deve avere una resistenza elevata, per modo che attraverso il suo avvolgimento passi solo una debole corrente. Un potenziometro si presta assai bene per queste misure, (par. 26), perchè non assorbe corrente dalla pila nell'istante in cui si fa la misura.

È importante notare che la quantità *r*, che abbiamo chiamato resistenza interna di un elemento, non è costante, ma varia con la corrente erogata dall'elemento stesso. In alcune pile (p. e. la pila a gravità) la resistenza diminuisce coll'aumentare della corrente. In altre (p. e. la pila a secco) si ha una rapida polarizzazione, che tende ad aumentare con la corrente erogata, e poichè la forza controelettrometrice di polarizzazione si oppone alla f. e. m. dell'elemento, il valore della corrente diminuisce. È come se la resistenza interna dell'elemento aumentasse. Da ciò deriva che il fattore *r*, per quanto si concepisca come una resistenza, non è di fatto una vera resistenza ohmica. Sarebbe meglio chiamarlo resistenza apparente.

E. Circuiti Elettrici.

23. **La corrente circola soltanto in un circuito chiuso.** — Perchè una corrente possa, in condizioni di regime, circolare, ha bisogno di un conduttore continuo, che parta dal generatore e ritorni ad esso. Questo conduttore costituisce il circuito elettrico. L'intensità di corrente, che circola in un circuito, è tanto maggiore quanto minore è la resistenza di esso. Se qualche tratto del circuito è di materiale ad altissima resistenza, la corrente in esso è relativamente debole. Un circuito completo si compone di due parti: *(a)* il tratto di circuito esterno, che connette i poli della batteria o della dinamo all'esterno; *(b)* la parte interna del circuito, che è costituita dal liquido conduttore della batteria o dai conduttori interni della dinamo. Quando tagliamo il conduttore esterno e ne allontaniamo le estremità, si dice che il circuito è aperto o rotto. Se le estremità del filo sono di nuovo riunite, si dice che il circuito è chiuso.

La corrente ha intensità costante in tutti i punti di un circuito. — Spesso i principianti credono che una corrente scaturisca da una sorgente con una data intensità, e che questa vada poi man mano scemando lungo il circuito. Questa è una concezione completamente erronea, e si intuisce subito che nei circuiti semplici con sola resistenza quali noi consideriamo, la corrente ha la stessa intensità, qualunque sia il punto del circuito considerato. Esaminiamo ad esempio il circuito della Fig 31, che si compone

di una batteria o dinamo G, di una lampada *I*, e di un reostato R. Se inseriamo uno strumento misuratore di corrente ossia un amperometro in *a*, *b*, *c*, o in qualunque altro punto, esso ci indica sempre la stessa intensità di corrente. Qualunque sia questa intensità, essa dipende dal valore della tensione applicata e dalla resistenza totale del circuito, ma è una quantità costante lungo tutto il circuito. Questo non è però il caso dei circuiti a corrente alternata, che hanno della capacità distribuita. (par. 139).

Le stesse considerazioni si possono fare per un circuito del tipo indicato in Fig. 32. La corrente totale *I* si divide in *a* in

due parti, i_1 e i_2. La somma di queste componenti è esattamente eguale ad I. In altre parole, qualunque sia la corrente che arriva al punto a, la stessa corrente riparte da esso. Le correnti i_1 ed i_2 si riuniscono in b, e danno ancora origine alla corrente I, che ha lo stesso valore precedente.

Un'altra legge importante è la seguente: la somma delle cadute di tensione in ogni parte del circuito, compreso il generatore, è eguale alla f. e. m. prodotta dal generatore. Di ciò si è già parlato a proposito della legge di Ohm., par. 16.

24. Collegamenti in serie e parallelo. —

(a) Resistenze in serie. — Se parecchie resistenze sono collegate, come è indicato in fig. 33, in modo cioè che qualunque corrente, che passa attraverso una di esse, debba attraversare tutte le altre, si dice che sono in « serie ». La resistenza unica equivalente, che si può sostituire all'intero sistema di resistenze, senza alterare l'intensità della corrente, è eguale alla somma delle singole resistenze. Si può dimostrare quanto sopra come segue. Indichiamo le tensioni attraverso R_1, R_2, R_3, ecc. con E_1, E_2, E_3, ecc. Possiamo allora scrivere:

$$E_1 = R_1 I$$
$$E_2 = R_2 I$$
$$E_3 = R_3 I$$

Poichè tutta la tensione fra a e b è la somma delle tensioni attraverso i singoli tratti del circuito, possiamo scrivere per la tensione totale E,

$$\begin{aligned} E = E_1 + E_2 + E_3 &= R_1 I + R_2 I + R_3 I \\ &= I[R_1 + R_2 + R_3] \\ &= I R \end{aligned}$$

dove R sostituisce la somma di tutti i termini in parentesi, e si vede che è la somma delle singole resistenze. Se le resistenze

in serie sono eguali, possiamo scrivere per la resistenza equivalente del gruppo,

$$R=nr \tag{19}$$

dove n è il numero delle resistenze ed r è la resistenza di ciascuna di esse. *Quando le resistenze sono collegate in serie la corrente è costante, e la tensione totale si suddivide fra le varie parti del circuito.*

(b) Resistenze in parallelo. -- Se si collegano parecchie resistenze come è indicato in figura 34, in modo cioè che attraverso a ciascuna di esse passi solo una parte della corrente, si dice che le resistenze sono connesse in « parallelo » o in « quantità ». La tensione E fra i punti a e b è la stessa per ogni derivazione. Possiamo allora scrivere in base all'equazione (11),

$$i_1=\frac{E}{R_1} \quad i_2=\frac{E}{R_2} \quad i_3=\frac{E}{R_3}$$

Poichè la corrente totale deve essere la somma delle correnti nei tre rami, possiamo sommare le tre eguaglianze membro a membro

$$i_1+i_2+i_3=I=E\left[\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right]$$

$$\frac{I}{E}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3} \tag{20}$$

Dall'equazione (9) appare che la tensione divisa per la corrente dà la resistenza, perciò il primo membro dell'equazione (20) è il reciproco della resistenza equivalente, o $\frac{1}{R}$.

Quindi

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3} \tag{21}$$

Occorrono così spesso in pratica due resistenze in parallelo che

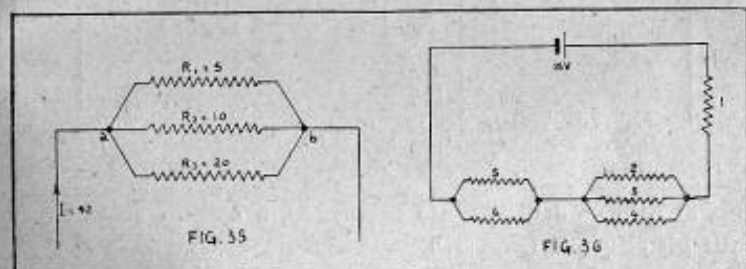
è bene considerare più particolarmente questo caso. Risolvendo l'equazione (21) rispetto ad R nel caso di due sole resistenze, abbiamo

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \tag{22}$$

Due resistenze in parallelo hanno quindi una risultante o resistenza equivalente, data dal prodotto delle resistenze divise per la loro somma.

Quando si ha un gran numero di resistenze eguali, collegate in parallelo, si può dimostrare che la resistenza equivalente del gruppo è data da

$$R = \frac{r}{n} \tag{23}$$

dove r è il valore di ciascuna resistenza, ed n il numero di esse.

Quando delle resistenze sono connesse in parallelo, la caduta di tensione fra a e b, Fig. 34, é costante, e la corrente totale si suddivide fra le varie derivazioni. [1]

---

[1] *Esercizio 1.* — Una corrente di 42 ampere attraversa un circuito, Fig. 35, e si divide in tre rami di resistenza rispettivamente di 5 ohm, 10 ohm, e 20 ohm. Trovare la corrente di ciascun ramo.

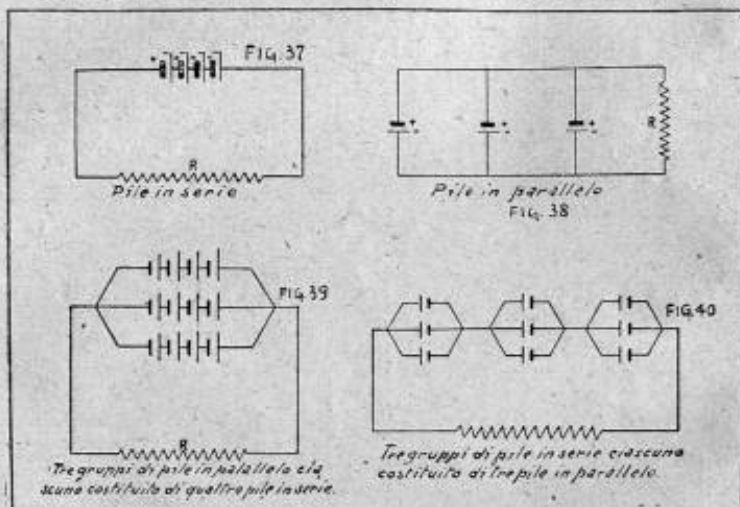
Soluzione. La resistenza totale R fra a e b è data da

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{20}$$

$$R = \frac{20}{7} \, ohm$$

(c) *Batterie in serie e parallelo.* — Si ha spesso in pratica bisogno di effetti più intensi di quelli, che produce un singolo elemento di una batteria. Ciò si ottiene collegando gli elementi della batteria in uno dei tre modi seguenti:

1. In serie. In questo caso il polo + di un elemento si col-

lega al polo — dell'elemento successivo, e così di seguito per tutti gli elementi (Fig. 37).

La caduta RI fra *a* e *b* è data dall'equazione (10) $E = \frac{20}{7} \times 42 = 120$ volt.

Le varie correnti possono calcolarsi colla legge di Ohm,

$$i_5 = \frac{120}{5} = 24 \text{ ampere}$$

$$i_{10} = \frac{120}{10} = 12 \text{ ampere}$$

$$i_{20} = \frac{120}{20} = 6 \text{ ampere}$$

Esercizio 2. — Una batteria di resistenza interna 1 ohm e di f. e. m. 15 volt invia corrente in un circuito costituito da resistenze, come in figura 36. Trovare: (1) la corrente totale (2) la caduta RI attraverso le resistenze 1, 4 e 5, (3) le correnti attraverso 1, 4 e 5.

2. In parallelo. In questo caso tutti i terminali (+) sono riuniti insieme e così anche i terminali (—). (Fig. 38).

3. In una combinazione di gruppi in serie e parallelo. Alcuni gruppi di elementi in serie si possono collegare in parallelo, (Fig. 39) o alcuni gruppi di elementi in parallelo si possono riunire in serie. (Fig. 40)

Il raggruppamento più adatto ad ogni caso particolare dipende dalle circostanze, ma in generale una disposizione in serie aumenta la tensione, pur accrescendo nello stesso tempo la resistenza interna, mentre una disposizione in parallelo, diminuendo la resistenza interna, permette il passaggio di una corrente più intensa. Se indichiamo con n il numero degli elementi, con E la f. e. m. di ciascun elemento, la resistenza interna di un elemento con r, e la resistenza esterna con R, noi possiamo scrivere la legge di Ohm per ciascuno dei casi sopra considerati.

Per raggruppamenti in serie,

$$I = \frac{n\,E}{R + nr} \tag{24}$$

Per raggruppamenti in parallelo,

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} \tag{25}$$

Se ciascun gruppo ha n elementi in serie, e gli m gruppi sono collegati in parallelo,

$$I = \frac{nE}{R + \frac{nr}{m}} \tag{26}$$

Disponendo di un certo numero di pile a secco, (specialmente se le pile sono di poco recente costruzione e quindi hanno una resistenza interna relativamente grande), il collegamento in serie può aver l'effetto di aumentare in misura più notevole la

resistenza interna che la tensione. Dall'accoppiamento degli elementi in serie deriverebbe quindi una diminuzione di corrente. Il collegamento più opportuno di un dato numero di elementi, per ottenere una corrente di intensità prestabilita, in relazione ad una determinata resistenza del circuito esterno, si può scegliere solo in base ad una accurata applicazione della legge di Ohm e delle equazioni sopra scritte, tenendo conto delle resistenze di tutti i tratti del circuito. (¹)

In generale si otterrà da un dato numero di elementi la corrente più intensa, quando essi sono raggruppati in modo tale, che la resistenza interna della batteria sia eguale alla resistenza esterna del circuito. Le pile si raggrupperanno in serie, quando la resistenza esterna é grande, ed in parallelo quando la resistenza esterna è piccola. Negli impianti di illuminazione con molte lampade ad incandescenza, la resistenza di una lam-

---

(¹) *Esercizio*. — Si abbia un certo numero di batterie di pile, ciascuna costituita di due pile a secco, di f. e. m. 1,5 volt, resistenza interna 0,3 ohm. La f. e. m. di ciascuna batteria sarà di tre volt, la resistenza interna di 0,6 ohm. Supponiamo che la resistenza esterna del circuito sia 0,2 ohm e che si voglia realizzare una corrente di 6 ampere.

Soluzione. — Se usiamo una sola batteria, la legge di Ohm dà:

$$I=\frac{3,0}{0,2+0,6}=3,75 \text{ ampere}$$

corrente che non è sufficente ai nostri bisogni; se disponiamo due batterie in serie,

$$I=\frac{6,0}{0,2+1,2}=4,28 \text{ ampere}$$

La corrente è ancora troppo debole, e si vede che, pur essendosi raddoppiata la tensione, la corrente ha avuto solamente un aumento di circa il 14 %. Provando tre batterie in serie,

$$I=\frac{9}{0,2+1,8}=4,5 \text{ ampere}$$

corrente ancora troppo debole, e che è cresciuta soltanto del 25 %, benchè la tensione si sia triplicata. Se disponiamo invece due batterie in parallelo,

$$I=\frac{3}{0,2+\frac{0,6}{2}}=6,0 \text{ ampere}$$

pada è forte rispetto a quella della linea, ed al portalampada si ha disponibile pressochè la tensione totale: è quindi preferibile la disposizione in parallelo.

25. **Circuiti derivati. Legge dello Shunt.** — I circuiti elettrici si dispongono spesso in modo che la corrente totale si suddivida in due o più derivazioni in parallelo. Come è indicato in fig. 41 la corrente totale I si divide in due parti, i_1 e i_2, che passano rispettivamente nelle due derivazioni r_1 ed r_2.

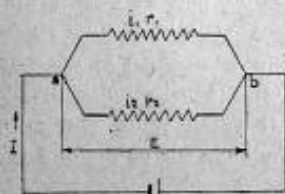
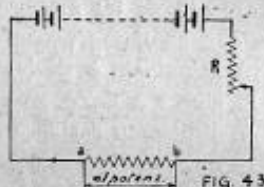
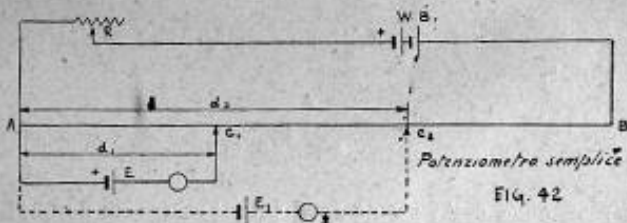



FIG. 41
FIG. 43
FIG. 42

Ciascuna derivazione prende rispetto alle altre il nome di shunt. La tensione fra i punti a e b è naturalmente la stessa per ogni derivazione. Possiamo allora scrivere,

$$i_1 = \frac{E}{r_1} \qquad (a)$$

$$i_2 = \frac{E}{r_2} \qquad (b)$$

Dividendo *(a)* per *(b)*; abbiamo

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1} \qquad (27)$$

Le intensità delle correnti nelle derivazioni sono inversamente proporzionali alle resistenze dei rispettivi conduttori. Questa relazione è nota col nome di « legge dello shunt ». In altre parole si può dire che la resistenza più bassa è percorsa dalla corrente più intensa, e la derivazione di resistenza più elevata è percorsa dalla corrente più debole.

Questa legge è di uso corrente nei circuiti elettrici. Supponiamo di avere a nostra disposizione un solo amperometro graduato da 0 a 5 ampere, e supponiamo che si debba misurare una corrente di 50 ampere. La legge dello shunt suggerisce subito che possiamo procedere come segue. Se la corrente nel circuito principale è di 50 A e quella limite nell'amperometro 5 A, lo shunt s deve sopportare il resto della corrente, o 45 ampere. Possiamo scrivere allora in base all'equazione (27),

$$\frac{i_a}{i_s}=\frac{5}{45}=\frac{s}{r} \tag{28}$$

dove r è la resistenza dell'amperometro ed s è la resistenza dello shunt.

Cioè:

$$s=\frac{1}{9}r$$

La resistenza dello shunt deve quindi essere un nono di quella dell'amperometro. In generale si può dimostrare che, se I è la corrente totale,

$$i_a=I\left[\frac{s}{s+r}\right] \tag{29}$$

Il fattore $\frac{s+r}{s}$ dicesi « potere moltiplicatore » delle shunt ed è, nel caso considerato, eguale a 10.

26. **Il potenziometro.** — [1] Il potenziometro è essenzialmente

---

[1] La parola « potenziometro » è qui usata nel suo senso originale, significando una disposizione di circuiti per la misura di differenze di potenziale. Nei cataloghi degli apparecchi e nei manuali di radiotelegrafia la parola è spesso usata impropriamente nel senso di « divisore di tensione » (par. 15).

un dispositivo atto alla misura di una differenza di potenziale o di una tensione. Con l'aiuto di alcuni accessori si può usare per la misura di tensioni di qualunque ordine di grandezza, e, per mezzo della legge di Ohm, da queste misure si può poi passare alla determinazione delle correnti. Un filo omogeneo uniforme, lungo generalmente un metro o più, (Fig. 42) è disteso fra le viti di pressione di un regolo graduato in una determinata scala; in serie con questo filo si ha una sorgente di f. e. m. continua, generalmente una batteria di accumulatori, W. B, ed una resistenza variabile R. Dall'equazione (10) deriva che, con una appropriata regolazione di R, la tensione fra A e B può variare fra limiti ampi. Supponiamo: (1) che l'estremità A sia connessa col lato + della batteria W B, (2) la resistenza di AB sia uniforme e (3) la corrente attraverso AB abbia un'intensità costante e tale che la caduta RI lungo il filo sia circa 2 volt. Colleghiamo il polo + di una pila campione di tensione E (circa 1,0183) col punto A; si potrà per tentativi determinare un punto c_1 tale, che, quando si fa contatto in questo punto, il galvanometro g (par. 50) non dia alcuna deviazione. L'assenza di deviazione nel galvanometro significa che la caduta RI nel filo AB, da A a c_1, è esattamente eguale e opposta alla f. e. m. della pila campione. Indichiamo con d_1 la distanza $A\ c_1$. Poniamo qualche altro elemento E', di cui si voglia misurare la tensione, al posto della pila campione E. Se la tensione di questo elemento non supera la caduta RI in AB, si potrà trovare un altro punto c_2, per il quale non si abbia alcuna corrente nel galvanometro. Possiamo indicare con d_2 la distanza Ac_2; e la caduta RI lungo d_2 sarà esattamente eguale ed opposta alla tensione dell'elemento E', sotto prova. Poichè le cadute ohmiche lungo il filo sono direttamente proporzionali alle lunghezze, d_1 d_2, possiamo scrivere

$$\frac{E}{E'} = \frac{d_1}{d_2}$$

e

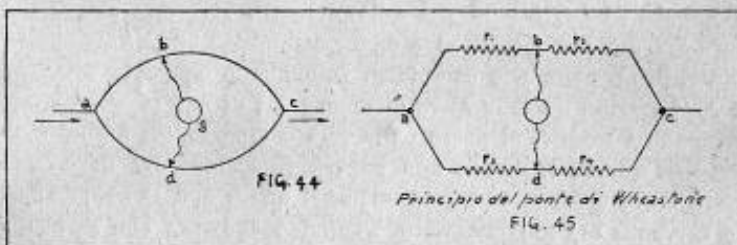
$$E' = E\frac{d_2}{d_1} \tag{30}$$

Questo tipo assai semplice di apparecchio si presta solo alla misura di tensioni dell'ordine di quella della pila campione. Se si devono misurare tensioni più elevate, si applicano ai terminali di un divisore di tensione (par. 15), e si misura con una pila campione qualche frazione definita di esse, collo stesso metodo già descritto.

Per mezzo del potenziometro si possono anche misurare intensità di corrente. La corrente da misurare si invia nella resistenza campione *ab* di valore noto *R*, (Fig. 43) scelta in modo che la caduta *RI* entri nel campo delle tensioni misurabili col potenziometro. La determinazione della corrente si riduce quindi alla misura della caduta di tensione attraverso *ab* per mezzo della pila campione, e il valore incognito di corrente si può calcolare colla legge di Ohm.

27. **Ponte di Wheatstone.** — È un circuito semplice atto alla misura di una resistenza sconosciuta, in funzione di una resistenza nota. Il metodo di misura si basa sul fatto che in un circuito a due derivazioni (Fig. 44) la caduta di tensione tra *a*

FIG. 44

Principio del ponte di Wheatstone
FIG. 45

e *c* è la stessa, sia lungo la via *abc*, che lungo *adc*. Se ne deduce allora che ad ogni punto *b*, scelto nel circuito superiore *abc*, corrisponde un punto *d* nel ramo inferiore *adc*, avente lo stesso potenziale. Si determina la posizione del punto *d*, collegando un terminale di un galvanometro in *b*, e movendo l'altro terminale lungo il circuito inferiore, fino a realizzare la condizione che il galvanometro non dia alcuna deviazione. Ciò significa che nel galvanometro non si ha passaggio di corrente, e

quindi non si ha alcuna differenza di potenziale fra b e d. Determinati in tal modo i punti b e d, si può dimostrare che le resistenze dei quattro rami del circuito stanno fra loro in un rapporto semplice (Fig. 45). Se tre di queste resistenze sono note, la quarta, r_4 può essere prontamente calcolata in base all'equazione

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$$

o

$$r_4 = r_3 \frac{r_2}{r_1} \qquad (31)$$

Spesso il ramo adc è costituito di un lungo filo uniforme ed omogeneo; nel qual caso il rapporto fra le lunghezze l_1 ed l_2 dei segmenti, intercettati dal punto d, si può sostituire al rapporto delle resistenze r_1 ed r_2. L'equazione (31) può allora scriversi

$$r_4 = r_3 \frac{r_2}{r_1} = r_3 \frac{l_2}{l_1} \qquad (32)$$

28. Calore e perdita di potenza. — Nel paragrafo 7 si è detto che, quando una corrente circola in una resistenza, genera calore. È importante comprendere che la legge di Joule dà la misura della quantità di calore prodotto, ma non definisce la temperatura, a cui il conduttore si porta. Il calore prodotto si può esprimere in joule, calorie a secondo, watt o cavalli vapore. Quando la quantità di calore, sviluppata dalla corrente elettrica, è esattamente eguale alla quantità di calore, perduta dal conduttore per conduzione e radiazione, la temperatura del conduttore diviene costante. La temperatura finale, raggiunta dal filo percorso dalla corrente, dipende dai corpi circostanti. Se esso è all'aria aperta, la radiazione di calore è maggiore. Negli avvolgimenti a più spirali, che si inviluppano l'un l'altro, la temperatura può crescere rapidamente, fino a bruciare l'isolante, se non si usano speciali precauzioni.

Quando il calore si dissipa nella stessa misura colla quale si produce, così che la temperatura del conduttore resti costante, anche la resistenza diviene costante.

Abbiamo trovato che:

$$W = JH = RI^2 t \tag{2}$$

Poichè dalla legge di Ohm, $I = E/R$ possiamo scrivere

$$W = JH = R\frac{E^2}{R^2}t = \frac{E^2}{R}t \tag{32}$$

E sostituendo

$$R = \frac{E}{I}$$

abbiamo

$$W = JH = \frac{E^2 I}{E} = EIt \tag{33}$$

Queste tre equazioni danno in joule l'energia dissipata in calore, quando si usino come unità di misura: ampere, volt, ohm e secondi.

La potenza é la misura della variazione dell'energia nel tempo. Se le tre equazioni sopra scritte si dividono per il tempo t, abbiamo tre equazioni corrispondenti per la potenza.

$$P = \frac{W}{t} = RI^2 \tag{34}$$

$$P = E^2/R \tag{35}$$

$$P = EI \text{ [1]} \tag{36}$$

---

[1] *Esercizio* 1. — Quale potenza consumano 1000 lampade ad incandescenza, ciascuna delle quali assorbe $\frac{1}{2}$ ampere a 110 volt?

Prima soluzione. — Per la relazione (36) ogni lampada consuma

$$\tfrac{1}{2} \times 110 = 55 \textit{ watt}$$

1000 lampade consumano

$$1000 \times 55 = 55{,}000 \textit{ watt}$$
$$= 55 \; kW$$

F. Capacità.

29. Corrente Dielettrica. — Fino ad ora sono state considerate soltanto correnti di una durata definita. In un materiale, che sia un isolante perfetto, non si possono invece avere che delle correnti istantanee. Se fra due punti di un isolante si applica una tensione, si determina fra essi un passaggio istantaneo di corrente, che però cessa immediatamente. Le correnti negli isolanti sono molto diverse dalle correnti nei conduttori. Inserendo in circuito un galvanometro sensibilissimo *g*. (fig. 46), esso accenna ad una deviazione istantanea nel momento, in cui l'interruttore si chiude; l'indice dello strumento ricade però subito a zero. Questa corrente istantanea è dovuta al fatto che, per effetto della tensione applicata tra due punti dell'isolante, esso è sottoposto ad una specie di sollecitazione elettrica, per cui attraverso ad esso si ha uno spostamento di elettricità. Ma poichè a questa sollecitazione si oppone la reazione elastica dell'isolante, si stabilisce ben presto l'equilibrio fra le due azioni, e la corrente cessa. Se di poi sopprimiamo la tensione applicata, il galvanometro ci indica una corrente istantanea in senso oppo-

---

Poichè 746 watt = 1 cavallo-vapore

$$\frac{55,000}{746} = 73,7 \cdot HP$$

Seconda soluzione. — La resistenza di ciascuna lampada è data da

$$R = \frac{E}{I} = \frac{110}{\frac{1}{2}} = 220 \text{ ohm}$$

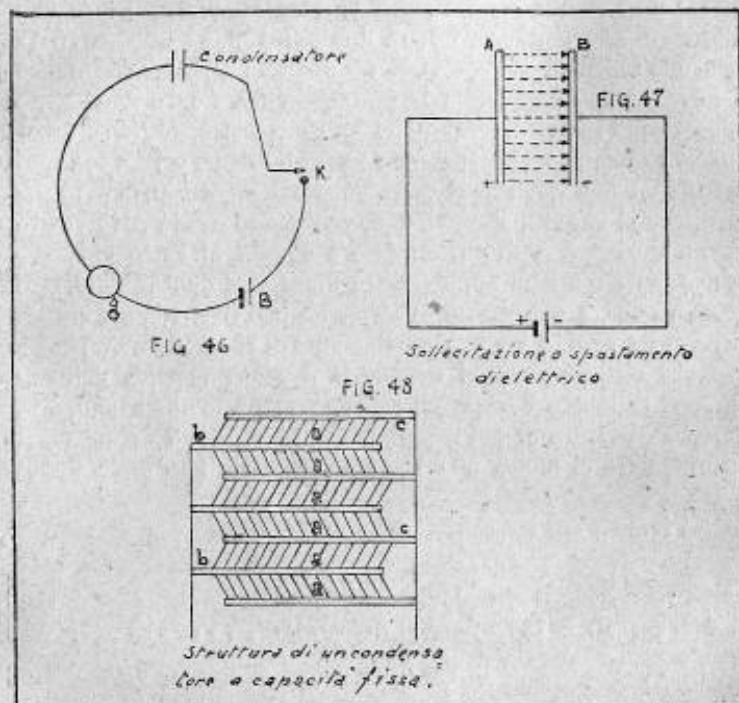
Ricorrendo alla relazione (34)

$$P = 220 \times \tfrac{1}{4} = 55 \text{ watt per una lampada}$$

Per 1000 lampade

$$P = 1000 \times 55 = 55 \text{ kW}$$

Esercizio 2. — La resistenza degli avvolgimenti interni di uno strumento è di 1210 ohm. Se ai suoi terminali si applica una tensione di 110 volt, quale è la potenza in watt, che si di dissipa sotto forma di calore?

sto. Correnti di questo tipo diconsi « correnti di spostamento », e la loro durata si limita al solo periodo di variazione della sollecitazione elettrica. Quando in un materiale isolante si considera l'esistenza di una corrente di spostamento, il materiale dicesi « dielettrico », e la corrente di spostamento è spesso anche chiamata « corrente dielettrica ».

Non si deve credere che la corrente di spostamento consista in un passaggio effettivo di materia, che trasporti le cariche attraverso il dielettrico da una armatura all'altra, e nemmeno da una molecola all'altra del dielettrico. È invece come se, in ciascuna molecola, una carica positiva si porti ad una estremità ed una carica negativa all'altra. Di conseguenza, poichè tutte le ca-

riche positive si dirigono in una unica direzione, l'effetto apparente, che ne risulta, è quello di una carica, che attraversi tutto il dielettrico. Il fenomeno si può meglio intuire ricorrendo alla seguente analogia. Un urto improvviso ad una persona, che si trovi in una grande folla di gente, si trasmette da persona a persona, per modo che la persona più lontana lo avverte: eppure nessuna di quelle persone si è spostata dell'intervallo di spazio, lungo il quale l'urto si è trasmesso.

Quando un dielettrico è elettricamente sollecitato, diviene sede di energia potenziale in forma « elettrostatica ».

30. **Condensatori.** — Si produce una corrente di spostamento in un dielettrico, limitato da due armature metalliche, quando alle due armature si colleghino i terminali di una batteria o di una qualsiasi sorgente di f. e. m. Un dispositivo costituito da due armature metalliche, separate da materiale non conduttore, dicesi condensatore. Così nella figura 47, *A* e *B* sono le armature metalliche del condensatore. Le linee punteggiate indicano la direzione della sollecitazione elettrica o dello spostamento. L'armatura, dalla quale si determina lo spostamento, dicesi positiva o armatura + del condensatore: mentre l'altra negativa o armatura —. Il dielettrico può essere gassoso (aria o un gas qualunque), solido o liquido, purchè di materiale non conduttore. Quando i terminali della batteria si collegano al condensatore, si ha nel dielettrico una corrente di spostamento, che dura fino a che la sollecitazione elettrica è equilibrata dalla reazione dielettrica. Lo spostamento elettrico dipende: *(a)* dalla tensione applicata al condensatore, e *(b)* dalla natura del dielettrico. Solo nei conduttori si possono avere delle correnti continue: una corrente alternata invece, ossia una corrente, la cui direzione si inverte periodicamente, può attraversare anche i condensatori sotto forma di corrente dielettrica (par. 56). In questo caso la sollecitazione elettrica o spostamento inverte la sua direzione ad ogni inversione di corrente. L'esistenza della sollecitazione elettrica o della corrente di spostamento nel dielettrico equivale alla presenza in esso di una certa quantità di cariche di elettricità.

Si dimostra che la carica *Q* di un condensatore è diretta-

mente proporzionale alla tensione applicata E. Questa relazione può scriversi

$$Q=CE \tag{37}$$

in cui C è una costante. Per ogni condensatore la costante C è definita dal rapporto della carica alla tensione, o

$$C=\frac{Q}{E} \tag{38}$$

Questa costante dicesi « capacità » del condensatore. Le unità usate per la misura delle capacità sono il « microfarad » ed il « micromicrofarad » (con notazioni abbreviate « μF » e « μμF ». (Vedi appendice 2).

La capacità varia colla natura del dielettrico usato: essa aumenta coll'aumentare dell'area delle armature e diminuisce col diminuire della loro distanza.

Carica dei condensatori. — Durante il breve intervallo di tempo, nel quale il condensatore accumula cariche di elettricità, la tensione $\frac{Q}{C}$ dovuta a queste cariche aumenta. Questa tensione tende ad opporsi alla tensione applicata o di carica. Quando $\frac{Q}{C}$ è divenuto uguale ad E, il processo di carica cessa. Si noterà che la relazione (37) non contiene il fattore tempo; perciò la stessa quantità di elettricità si accumula in un condensatore, sia con un processo di carica lento, che sollecito. La velocità di carica dipende dal valore della capacità e della resistenza del circuito. Quanto maggiore è il prodotto dei fattori C ed R, tanto maggiore è il tempo richiesto, perchè fra le armature del condensatore si stabilisca una data tensione, frazione di quella applicata; il prodotto CR dicesi costante di tempo del circuito.

31. **Proprietà dielettriche.** — Una semplice esperienza dimostra che la carica, accumulata in un condensatore, per una data tensione applicata, e per una data distanza tra le armature, dipende dalla natura del dielettrico. Carichiamo con una deter-

minata f. e. m. le due armature di un condensatore, avente come dielettrico aria secca, e misuriamo con mezzi opportuni la carica del condensatore. Poniamo di poi fra le due armature una lastra di paraffina; troveremo che per la stessa f. e. m. applicata la carica è cresciuta. Indicando la capacità con aria con C_a, e la capacità con paraffina con C_p possiamo scrivere

$$\frac{C_p}{C_a} = K$$

dove K è una costante. Col semplice cambiamento del dielettrico, e senza variare la disposizione geometrica delle armature, la capacità è aumentata. L'aria si usa comunemente come termine di paragone, ed il fattore K si dice « costante dielettrica » [1] del materiale. *La costante dielettrica di una data sostanza si può quindi definire come il rapporto della capacità di un condensatore, avente questa sostanza come dielettrico, alla capacità dello stesso condensatore, avente come dielettrico l'aria.* Si vede che questo rapporto è il fattore per il quale la capacità di un condensatore ad aria deve moltiplicarsi, per trovare la capacità dello stesso condensatore, quando si usi come dielettrico la nuova sostanza. Nella tabella seguente sono riportati i valori della costante dielettrica di vari dielettrici.

DIELETTRICI	Valori della costante dielettrica
Carta asciutta	1,5
Carta (trattata come si usa nei cavi)	4
Paraffina	da 2 a 3,3
Ebonite	da 2 a 3,2
Petrolio	2,1
Olio per trasformatori	2,5
Mica	da 4 a 8
Vetro	da 4 a 10
Acqua	81

[1] Talvolta chiamata anche «induttività» o «capacità induttiva specifica»

Nelle costanti relative ad alcuni dielettrici si nota un'ampia variazione, inquantochè le proprietà dielettriche di tali sostanze differiscono notevolmente, a seconda della rapidità, colla quale la carica o la scarica avvengono. Secondochè le misure si fanno con una tensione alternativa ad alta frequenza o con una tensione continua, si trovano valori di K diversi. Per misure accurate si devono stabilire esattamente le condizioni sperimentali.

I dielettrici non sono degli isolanti perfetti, ma hanno una piccolissima conduttività elettrica. Di conseguenza, un condensatore permette con continuità il passaggio di una piccolissima corrente, quando ai suoi terminali si applica una f. e. m.; e si scarica lentamente, se lasciato a sè con i suoi terminali sconnessi. In questo consistono le «perdite» dei condensatori. I dielettrici hanno a questo riguardo un comportamento assai diverso. Due armature con dielettrico ad aria secca conservano la carica ricevuta quasi indefinitamente, mentre in alcuni condensatori a carta, la carica scompare in pochi minuti.

Se una f. e. m. applicata per un breve tempo ad un condensatore dà una certa carica, ed una carica maggiore, quando applicata per un tempo più lungo, si dice che il dielettrico ha proprietà di «assorbimento». Vi è nel dielettrico una graduale penetrazione della sollecitazione elettrica, che richiede tempo. Quando si collegano i terminali di un condensatore carico per mezzo di un conduttore, in questo passa una corrente, ed il condensatore si scarica. Le cariche, che si dileguano istantaneamente durante la scarica, diconsi «cariche libere». Con alcuni dielettrici, se i terminali si riuniscono una seconda volta, si ha un'altra scarica meno intensa, che può ripetersi più volte successive. Queste così dette scariche residue sono dovute alle cariche assorbite dal dielettrico, e sono indizio che il dielettrico stenta a reagire alla sollecitazione elettrica. Nei condensatori fatti con dielettrico di olio o mica ben scelta, l'assorbimento è piccolo. È maggiore con dielettrici di vetro e molto notevole con dielettrici di bakelite e materiali simili. I condensatori, aventi dielettrico costituito da una di queste sostanze, e caricati ad una tensione elevata, continuano a cedere la carica assorbita per un tempo sensibile. L'as-

sorbimento è accompagnato da produzione di calore nel dielettrico, che rappresenta una perdita di energia.

Il rapporto fra la carica libera di un condensatore e la tensione esistente fra le due armature dicesi « capacità geometrica ». Le misure di capacità, fatte prolungando il periodo di carica, danno valori della capacità geometrica più elevata del vero. Invece le misure fatte con correnti alternate ad alta frequenza danno valori, che si approssimano assai alla capacità geometrica.

Riassunto. — Un corpo elastico si deforma, se sottoposto ad una sollecitazione elastica, e l'effetto prodotto si misura in funzione degli elementi della elasticità propria del materiale impiegato. Un dielettrico è elettricamente sollecitato, quando si fa agire ai suoi estremi una f. e. m., e l'effetto prodotto si misura in funzione degli elementi della capacità del condensatore. È interessante notare che la capacità di un condensatore elettrico è esattamente analoga alla elasticità o deformabilità di un corpo elastico.

32. **Vari tipi di condensatori.** — Per aumentare la capacità di un condensatore, possiamo:

1. Aumentare l'area delle armature.
2. Diminuire la distanza fra le armature.
3. Usare un dielettrico di costante dielettrica più elevata.

In generale i condensatori si classificano in due categorie, secondochè sono atti: *(a)* a basse tensioni minori di 500 volt, o *(b)* ad alte tensioni del valore di parecchie migliaia di volt. Coll'aumentare della superficie delle armature tendono ad aumentare la grossezza ed il peso del condensatore. Se le due armature si pongono vicinissime tra loro, e la tensione applicata è elevata, occorre impiegare un dielettrico di alto potere dielettrico. I condensatori per tensioni modeste, la cui caratteristica è una notevole capacità, sono costituiti da fogli di stagnola con l'interposizione di sottili fogli di mica o carta paraffinata, come indica la fig. 48, nella quale gli strati di dielettrico sono rappresentati con *aa*, le armature rispettivamente con *bb*, e *cc*. Il condensatore assume un aspetto compatto, essendo l'insieme mantenuto a posto da uno strettoio. La superficie esterna si ricuopre con

paraffina liquida o cera. Nei condensatori per altissime tensioni le armature sono più lontane, e come dielettrico viene comunemente usata l'aria o l'olio. Un condensatore a capacità variabile, assume comunemente la forma indicata dalla fig. 49. Si hanno due gruppi di piastre: quelle di un gruppo perfettamente isolate da quelle dell'altro, e uno dei gruppi è montato in maniera da poter ruotare rispetto all'altro. Il condensatore può essere tarato, in modo che la capacità corrispondente a ciascun spostamento angolare della parte rotante sia nota. Nei circuiti radiotelegrafici i condensatori si sogliono rappresentare con simboli speciali, che sono riportati nell'appendice 3.

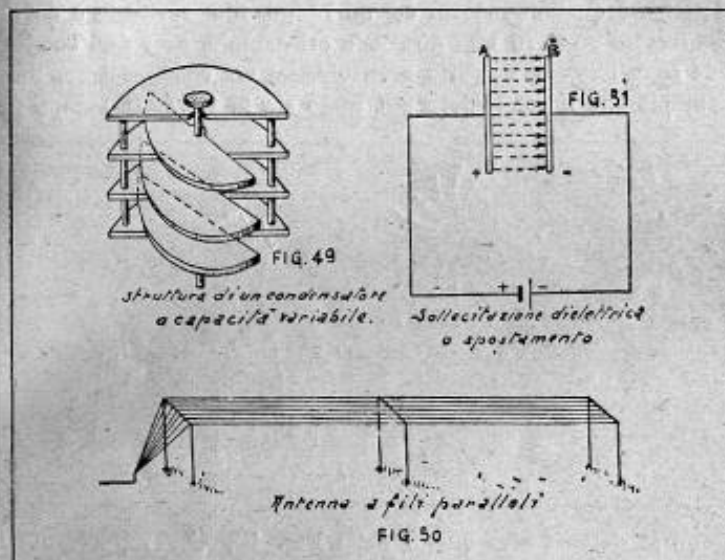
Le armature di un condensatore non debbono essere necessariamente metalliche. La terra è un conduttore, e rimpiazza frequentemente una delle armature del sistema. Un filo disteso lungo una serie di pali costituisce un'armatura di un condensatore, e l'altra armatura è il filo di ritorno del circuito o la terra stessa. Parecchi fili riuniti fra loro in parallelo hanno, rispetto alla terra, una capacità maggiore di un filo solo. Un condensatore di questo tipo è l'antenna radiotelegrafica (fig. 50). I fili di rame di un cavo sottomarino costituiscono una delle armature di un condensatore, l'isolante è il dielettrico e l'acqua di mare è l'altra armatura. Nello stesso modo, in un cavo telefonico la carta è il dielettrico, ciascuno dei conduttori del cavo può considerarsi come una delle armature di un condensatore, di cui l'altra armatura è costituita o dal filo adiacente della coppia, o dalla rivestitura di piombo del cavo stesso. La grande lunghezza dei fili telefonici e dei cavi sottomarini rende tali condensatori di grande superficie e quindi di grande capacità. La capacità di un ordinario cavo sottomarino lungo un miglio (1852 m.) è dell'ordine $\frac{1}{4}$ μ F. Un cavo telefonico, comune, lungo un miglio, ha una capacità di circa 0,008 μ F. La capacità di una coppia di fili di rame lunghi circa 300 m. e distanti 30 cm. è di circa 0,0032 μ F. Due piastre quadrate di 10 cm. di lato, separate da un mm. di aria secca, hanno prossimamente la capacità di 100 μμ F.

33. **Intensità del campo elettrico.** — Consideriamo il conden-

satore ad aria rappresentato in Fig. 51, ai cui terminali sia applicata la f. e. m. *E*. Tale f. e. m. produce nel dielettrico una sollecitazione elettrica o spostamento, la cui direzione è indicata dalle linee punteggiate. Per effetto della differenza di potenziale esistente fra le due armature, si determina in ogni punto del dielettrico una forza, capace di spostare un corpo avente la carica unitaria di elettricità. Questa forza dicesi intensità del campo elettrico ed è definita come la forza per unità di carica

FIG. 49 Struttura d'un condensatore a capacità variabile.

FIG. 51 Sollecitazione dielettrica o spostamento

FIG. 50 Antenna a fili paralleli

di elettricità. Lo spazio, nel quale l'intensità del campo agisce, dicesi campo elettrico. Il campo nel dielettrico di un condensatore è rappresentato in Fig. 51: la intensità del campo è data dal rapporto fra la f. e. m. attraverso il condensatore alla distanza fra le armature. L'intensità del campo elettrico E è quindi

$$\mathrm{E} = \frac{E}{d} \qquad (39)$$

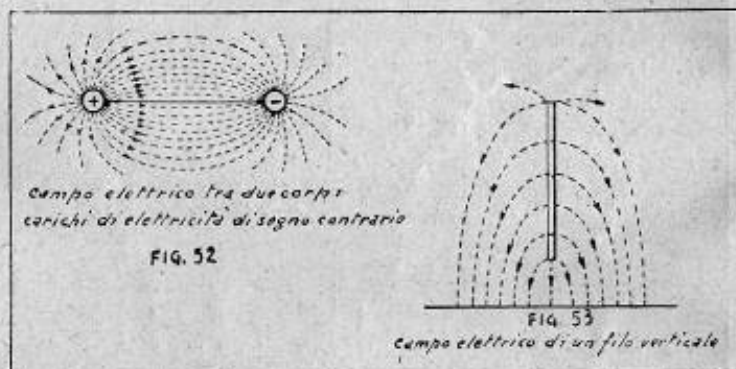
dove E è la f. e. m. fra due punti del dielettrico, e d la loro distanza: E si esprime comunemente in volt per centimetro, ed è una quantità importante per lo studio delle onde elettriche.

Il campo elettrico nel condensatore della **Fig. 51** ha in ogni punto la stessa intensità e la stessa direzione, e dicesi perciò campo uniforme. Vi sono molte altre specie di campi. Nella Fig. 52 è rappresentato il campo elettrico intorno a due corpi, che hanno cariche di nome contrario. Un altro esempio di campo elettrico è quello prodotto da un lungo filo verticale e da un conduttore steso in una direzione orizzontale. Se i due conduttori sono immersi nell'aria costituiscono un condensatore. Supponiamo che il conduttore più basso sia la terra. Il campo in-

Campo elettrico fra due corpi carichi di elettricità di segno contrario

FIG. 52

FIG. 53

Campo elettrico di un filo verticale

torno al sistema sarà quello della **Fig.** 53, che rappresenta il campo elettrico prodotto da un'antenna radiotelegrafica.

34. Energia accumulata in un condensatore. — La sollecitazione elettrica del dielettrico in un condensatore carico rappresenta dell'energia accumulata, che si può calcolare nella maniera seguente. Il lavoro fatto per portare una carica sulle armature di un condensatore è il prodotto della carica per la differenza di potenziale esistente fra le armature. Supponiamo di caricare un condensatore, applicando ad esso una f. e. m., che cresca dal valore zero fino ad E volt. Se l'aumento di tensione è uniforme, la tensione media di carica è $\frac{1}{2}$ E. L'energia ac-

cumulata nel condensatore è il prodotto di questa tensione media per la carica, quindi

$$W = \tfrac{1}{2} Q E \qquad (40)$$

Poichè $Q = CE$, ricordando la relazione (37), possiamo scrivere

$$W = \tfrac{1}{2} C E^2 \qquad (41)$$

Il lavoro è espresso in joule, quando la capacità è in farad e la f. e. m. in volt. Un condensatore di 0.001 μ F caricato con una f. e. m. di 20.000 volt accumula un'energia:

$$W = \tfrac{1}{2} \frac{0.001}{10^6} 20{,}000^2 = 0{,}2 \text{ joule}$$

La relazione (41) ci dice che il tempo non entra nell'espressione dell'energia. Per portare un condensatore ad una determinata tensione fra le armature, occorre la stessa quantità totale di energia, sia che la carica avvenga lentamente o rapidamente.

La quantità totale di lavoro fatto per caricare un condensatore divisa per il tempo dà la potenza spesa. Possiamo scrivere:

$$P = \tfrac{1}{2} \frac{CE^2}{t}$$

o

$$P = \tfrac{1}{2} C E^2 N \qquad (42)$$

dove t è il tempo in secondi, richiesto per completare la carica, ed N è il numero di cariche in un secondo di tempo. Se il condensatore del problema sopra trattato si carica con un generatore, che dia una f. e. m. alternata di frequenza 500 periodi al secondo, la potenza diviene,

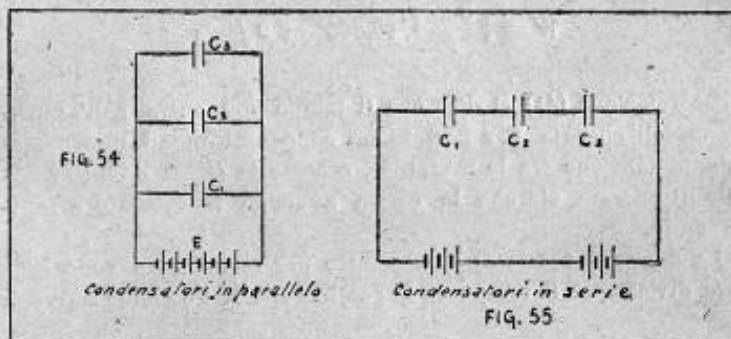
$$P = \tfrac{1}{2} C E^2 N = 0.200 \times 1000 = 200 \text{ watt}$$

Si noterà che il condensatore, in ogni periodo completo del generatore a corrente alternata, si carica e scarica due volte; cosicchè E è la f. e. m. massima.

35. **Condensatori in serie ed in parallelo.** — Conviene spesso, come si è già detto per le resistenze, accoppiare i condensatori in serie o in parallelo. La capacità del sistema risultante però non è espressa dalle stesse relazioni, che valgono per le resistenze.

Condensatori in parallelo. — La fig. 54 rappresenta tre condensatori riuniti in parallelo. La stessa f. e. m. è applicata a tutti i condensatori, e la carica accumulata da ciascuno di essi è proporzionale alla rispettiva capacità. Nel paragrafo 30 si disse che la capacità di un condensatore è proporzionale alla super-

Condensatori in parallelo

Condensatori in serie

ficie delle armature. Riunire i condensatori in parallelo equivale semplicemente ad aumentare l'area delle armature. Se con C_1, C_2, C_3, ecc. indichiamo rispettivamente le singole capacità dei vari condensatori, e C rappresenta la capacità equivalente dell'intero gruppo, possiamo scrivere

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots\ldots \qquad (43)$$

L'accoppiamento dei condensatori in parallelo dà sempre luogo ad una capacità maggiore di quella di ogni singolo elemento del sistema.

Condensatori in serie. — Se diversi condensatori sono collegati come indica la fig. 55, si dice che sono accoppiati in serie. Per trovare la capacità equivalente di un raggruppamento di questo tipo, bisogna por mente che ciascun condensatore riceve la stessa carica, e che la tensione totale E è suddivisa fra i condensatori in ragione diretta delle loro capacità. Usando gli stessi simboli precedenti, possiamo scrivere

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \ldots\ldots$$

oppure poichè in generale $E = \frac{Q}{C}$

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} + \ldots\ldots$$

da cui

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C} + \ldots\ldots \qquad (41)$$

L'accoppiamento in serie dei condensatori dà sempre luogo ad una capacità minore di quella di ogni singolo condensatore del gruppo. Si propongono i problemi seguenti:

(1) Un condensatore ha una capacità di 0,014 μ F e gli si applica una tensione di 30.000 volt. Trovare (a) la carica nel condensatore (b) l'energia accumulata, (c) la potenza spesa, quando è caricato con un generatore a c. a. a 500 periodi.

(2) Un condensatore è costituito di 15 piastre circolari e parallele. Ciascuna piastra ha 20 cm. di diametro ed è dalla successiva ad un mm. di distanza. Il dielettrico è petrolio. Calcolare la capacità.

(3) Tre condensatori hanno capacità di 0,02, 0,20, e 0,05 μ F rispettivamente. Trovare la capacità equivalente: (a) quando sono tutti in serie; (b) quando sono tutti in parallelo.

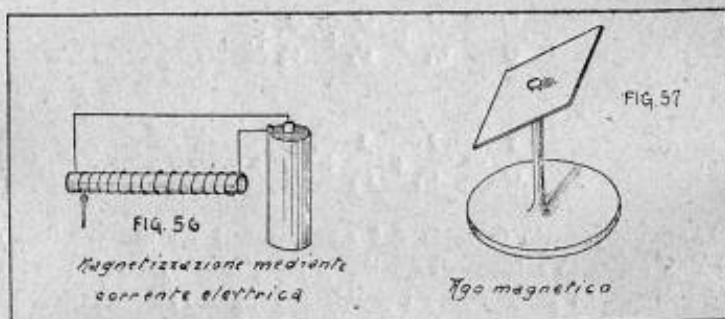
G. Magnetismo.

36. Magneti naturali. — Una delle forme nelle quali il ferro si trova allo stato naturale è l'ossido nero di ferro (formula chimica $F_3 3O_4$), detto magnetite o minerale ferro magnetico. Un

pezzo di questo materiale costituisce un «magnete naturale» ed ha le due notevolissime proprietà seguenti:

(a) Se è immerso nella limatura di ferro, la limatura aderisce ad esso.

(b) Se è sospeso ad un filo di seta o ad un sottile cordone senza torsione, si dispone prossimamente col suo asse maggiore nella direzione nord-sud.

37. **Sbarre magnetiche.** — Una sbarra di ferro o di acciaio, portata vicino ad un pezzo di magnetite, o strofinata su di esso in una particolare maniera, palesa proprietà identiche, e si dice che è «magnetizzata». Se la sbarra é di acciaio piuttosto duro, l'effetto persiste dopo che la sbarra è stata allontanata o si è

cessato lo strofinamento: si ha allora un «magnete permanente» o semplicemente una sbarra magnetica. I magneti permanenti hanno generalmente la forma di sbarre diritte a sezione circolare o quadrata, di lunghezza piuttosto grande in relazione al diametro. Possono anche essere foggiate in forme variabili, di cui un esemplare comune è quella a ferro di cavallo o ad *U*.

Si può anche magnetizzare una sbarra, facendo passare una corrente elettrica attraverso un filo avvolto intorno alla sbarra stessa (fig. 56). Se la sbarra è di ferro dolce, essa resta magnetizzata, fintantochè la corrente circola nel filo, e in questo caso si dice magnete temporaneo od «elettromagnete». Si hanno esempi di elettromagneti nei nuclei delle bobine di autoinduzione,

nei nuclei delle cicale, e nei relais telegrafici e telefonici. Gli elettromagneti sono utilissimi, perchè la loro magnetizzazione si può facilmente variare, facendo assumere alla corrente valori differenti. Se le sbarre sono di acciaio duro, il magnetismo, dovuto alla corrente, permane dopo che la corrente cessa e ne risulta un magnete permanente.

Una sottile sbarra di acciaio magnetizzata, montata accuratamente su di un asse intorno a cui possa ruotare, si dispone approssimativamente nella direzione nord sud, e dicesi « ago ma-

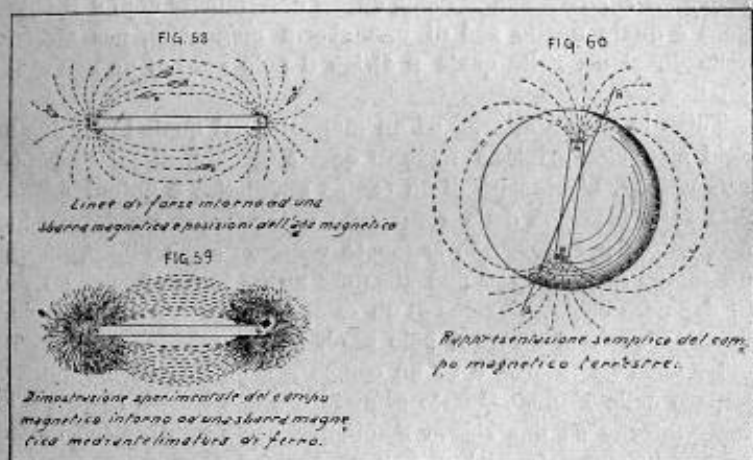
FIG. 58

Linee di forze intorno ad una sbarra magnetica e posizioni dell'ago magnetico

FIG. 59

Dimostrazione sperimentale del campo magnetico intorno ad una sbarra magnetica mediante limatura di ferro.

FIG. 60

Rappresentazione semplice del campo magnetico terrestre.

gnetico ». È usato dai marini e dagli agrimensori per individuare le direzioni. L'estremità, che si dirige verso il nord, è indicata col nome di « polo nord ». L'altra estremità chiamasi « polo sud ».

38. **Campo magnetico.** — Se in vicinanza di una grande sbarra magnetica si colloca successivamente in varie posizioni un ago magnetico, esso si orienta successivamente in direzioni diverse, come indica la fig. 58. Questo dimostra che in tutto lo spazio intorno al magnete vi sono delle forze che agiscono sui poli magnetici. Se si sparge della limatura di ferro su di un foglio di carta posto sopra il magnete, la limatura si dispone come è in-

dicato nella fig. 59. Ciascuna particella di ferro agisce come un ago magnetico, e in ogni sua posizione si orienta in una direzione definita. Queste linee di direzione dette «linee di forza magnetica» si addensano tutte in due punti vicini alle estremità della sbarra magnetica. Questi punti hanno il nome di «poli», del magnete. Si dice che due poli magnetici sono dello stesso nome, quando entrambi attraggono o respingono lo stesso polo. Se l'uno attrae e l'altro respinge lo stesso polo, si dicono di nome contrario. *Poli omonimi si respingono l'un l'altro e poli eteronimi si attraggono.* È facile quindi determinare qual'è il polo nord e quale quello sud di una sbarra magnetica, per mezzo della direzione, nella quale si dirige il polo nord di un ago magnetico.

Tutto lo spazio intorno ad un magnete, nel quale i poli degli aghi magnetici rivelano forze di questo genere, dicesi «campo magnetico». L'intensità di un campo magnetico è quindi misurata dalla intensità della forza, che agisce sopra un dato polo magnetico; nel paragrafo seguente vedremo come l'intensità di un campo magnetico si può misurare anche in maniera diversa. Si definisce come direzione di un campo magnetico la direzione verso la quale si dirige il polo nord.

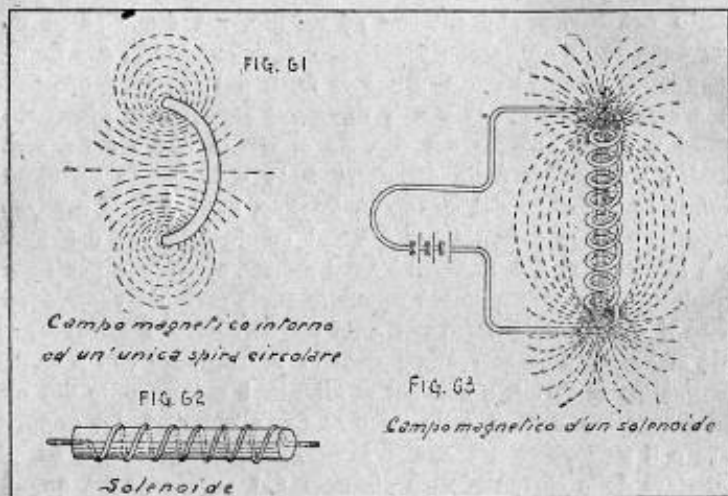
La terra ha intorno a sè un campo magnetico, che è rappresentato dalla Fig. 60. Questo campo è simile a quello, che esisterebbe intorno ad una sbarra magnetica, posta nell'interno della terra colle due estremità ai poli nord e sud della terra.

39. **Flusso magnetico e densità di flusso.** — La disposizione della limatura di ferro nella Fig. 59 ci dice che vi è un effetto più intenso in alcuni punti che in altri. Essa fa intuire anche che le linee di forza possono immaginarsi come qualche cosa di analogo ai filetti di corrente di un fluido in moto. In base a questa concezione si dice che esiste un flusso magnetico attraverso lo spazio occupato dal campo magnetico. Questo si suole rappresentare con linee dense, quando il campo è intenso, e rade quando il campo è debole. Non possiamo però rappresentarci il campo magnetico come costituito da tanti filamenti, così come penseremmo ad una matassa di filo: perchè in realtà esso invade

tutto lo spazio. Gli ingegneri elettrotecnici sogliono rappresentare un flusso magnetico, tracciando una linea attraverso il campo per ciascuna unità di flusso. Il numero di tali linee attraverso ad una sezione del campo eguale a un centimetro quadrato e presa in direzione perpendicolare alle linee dicesi « induzione magnetica » o « densità del flusso ». Si ha la densità di flusso unitaria in un campo magnetico, quando l'unità di flusso magnetico è distribuita sopra un centimetro quadrato di area, preso perpendicolarmente alla direzione del flusso.

40. **Campo magnetico intorno ad un conduttore.** — Si è già detto nel par. 3 che intorno ad un filo, nel quale passa una corrente, si ha un campo magnetico. Sperimentando con un ago magnetico, si trova che le linee di forza del campo, prodotto da una corrente, hanno la forma di circoli concentrici, giacenti in piani normali all'asse del filo. Se si afferra il filo colla mano destra, col pollice nella direzione della corrente, le altre dita danno la direzione del campo magnetico. (Fig. 60). Il campo si estende ad una distanza infinita dal conduttore, ma nei punti più lontani dal filo, l'effetto è assai debole, e richiede per essere rivelato un apparecchio più sensibile. Se la corrente cessa, scompare il campo magnetico coi suoi effetti. Quando attraverso il filo si lancia una corrente, possiamo immaginare che il campo magnetico si formi, e che poi si allontani rapidamente dal filo, assunto come centro delle linee di forza circolari. Lo scomparire e il riformarsi del campo magnetico, col diminuire ed aumentare della corrente, sarà discusso nel paragrafo 46, quando si illustreranno alcuni principi importanti relativi ai circuiti radiotelegrafici.

41. **Il solenoide e l'elettromagnete.** — Se il conduttore percorso da corrente è piegato a forma circolare, il campo magnetico assume la forma indicata in Fig. 61. Al centro del circolo esso è uniforme solo per una piccolissima area. Mettendo insieme parecchie di queste spire di forma circolare, l'una vicina all'altra, l'intensità del campo magnetico aumenta in ragione diretta del numero delle spire. Quando il filo è avvolto strettamente in molte spire, una accanto all'altra, lungo la

superficie di un cilindro, l'avvolgimento dicesi « solenoide » Fig. 62). In questo caso il campo magnetico è quasi uniforme per un notevole tratto, lungo l'asse del cilindro, ed il solenoide ha le proprietà di una sbarra magnetica. Ciò é evidente dal paragone dei campi magnetici delle Figure 58 e 63. L'intensità del campo e la densità del flusso magnetico nell'interno del solenoide dipendono dalla intensità della corrente e dal numero di spire di filo per centimetro. Lo stesso effetto magnetizzante si può realizzare con molte spire e una corrente

debole, o con poche spire ed una corrente intensa, purchè in ogni caso il prodotto delle spire di filo per gli ampere di corrente sia lo stesso.

Questo prodotto è noto col nome di « ampere-spire ». A un dipresso la intensità del campo magnetizzante, rappresentata dal simbolo H, è data da

$$H = \frac{5}{4} \frac{ampere\text{-}spire}{lunghezza} \qquad (45)$$

Se I è la corrente in ampere, la formula esatta deve invece scriversi

$$H=\frac{4}{10}\pi\frac{NI}{l} \tag{46}$$

42. **Induzione magnetica e permeabilità.** — Se lo spazio nell'interno del solenoide è occupato da ferro, le linee di flusso magnetico sono assai più numerose. Questo fatto è dovuto ad una proprietà del ferro chiamata « permeabilità » magnetica. Dire che il ferro è più permeabile dell'aria, significa che il magnetismo è più forte, quando il ferro è presente, di quello che sarebbe, se lo spazio interno al solenoide fosse occupato da aria. La permeabilità varia secondo la qualità del ferro, da alcune unità a qualche migliaio. Dire, ad esempio, che la permeabilità di un certo campione di ferro è 1000, significa che il flusso magnetico, attraverso un cm.² di sezione traversale del ferro, è 1000 volte più grande che il flusso attraverso la stessa sezione di aria [1]. Il flusso magnetico totale attraverso un nucleo di ferro, nell'interno di un avvolgimento magnetizzante, diviso per l'area della sezione traversale, dà l'« induzione magnetica », che si rappresenta col simbolo B. Possiamo indicare il flusso totale attraverso il ferro con Φ_i, allora:

$$\Phi_i=BA \tag{47}$$

dove A è l'area della sezione traversale del nucleo di ferro. Se si indica con H l'intensità del campo magnetizzante nell'in-

---

(1) E' necessario del tempo perchè la magnetizzazione proceda dalla superficie all'asse del nucleo di ferro. Se quindi la corrente magnetizzante inverte rapidamente di direzione, l'onda magnetica, che si genera in un mezzo periodo, non ha tempo di procedere notevolmente nell'interno, perchè il mezzo periodo successivo la annulla e dà origine ad un'onda di segno opposto. Ne consegue che in tal caso il magnetismo è limitato agli strati esterni del nucleo di ferro.

Per questa ragione il ferro non è tanto efficace nell'aumentare il numero delle linee di flusso nei circuiti ad alta frequenza, quanto lo è con correnti continue o con correnti a bassa frequenza.

terno di un solenoide, il flusso magnetico totale attraverso il solenoide sarà:

$$\Phi_a = HA \tag{48}$$

dove A è l'area della sezione traversale e Φ_a è il flusso totale attraverso il nucleo di ferro. La permeabilità è definita come il rappporto di B ad H.

È importante che lo studioso ricordi che l'induzione magnetica dipende: *(a)* dal numerò di ampere-spire e *(b)* dalla proprietà del ferro detta permeabilità. Il numero di ampere-spire viene scelto dall'operatore. La permeabilità dipende dalla qualità di ferro impiegato.

Se la corrente nell'avvolgimento viene invertita, si inverte pure la direzione del campo magnetico. Lo studioso dovrebbe imparare almeno una delle seguenti regole mnemoniche, per ricordare la relazione fra la direzione della corrente e la direzione del flusso magnetico:

(a) Se si guarda il solenoide nella direzione delle linee di flusso magnetico attraverso il solenoide stesso, la corrente è nella direzione, in cui ruotano le lancette di un orologio.

(b) Se si afferra il solenoide colla mano destra e colle dita distese lungo i conduttori nella direzione della corrente; il pollice indica la direzione del flusso magnetico nell'interno del solenoide [1].

43. Azione del campo magnetico su di un conduttore percorso da corrente. — Due diversi campi magnetici, che abbiano la stessa direzione e coesistano nello stesso spazio, reagiscono fra di loro. Se le linee di flusso magnetico sono nella stessa direzione, i due campi si respingono l'un l'altro, e se le linee di flusso sono in direzione opposta, i due campi si attraggono.

---

[1] Si applichi ciascuna delle regole sopra indicate alla Fig. 62. Si costituisca per esercizio un solenoide sperimentale avvolgendo pochi decimetri di filo, e si colleghi con una pila a secco: si segni in qualche modo la direzione della corrente attraverso gli avvolgimenti. Se ne provi la polarità con un ago magnetico, ricordando che poli dello stesso nome si respingono e poli di nome contrario si attraggono.

Facendo circolare una corrente in un filo, disposto perpendicolarmente alla direzione di un campo magnetico, sul filo agirà una forza, che tende a farlo spostare. Una regola atta a far ricordare allo studioso la direzione del movimento impresso al filo, in relazione a quella della corrente e del campo, è la cosidetta « regola della mano sinistra ». Se si dispone l'indice della mano sinistra nella direzione del campo magnetico, e si tiene il dito medio ad angolo retto, rispetto all'indice, nella direzione della corrente; il pollice disteso, e tenuto ad angolo retto rispetto alle altre due direzioni, indica la direzione del movimento, che il filo assume. Si noti che questa regola richiede l'uso della mano sinistra. Si paragoni questa regola con quella della mano destra, indicata nel paragrafo 45.

Se il filo percorso da corrente è ad angolo retto colla direzione del campo magnetico, la forza agente sul filo è eguale al prodotto della corrente per l'intensità del campo magnetico, e per la lunghezza del filo, che giace nel campo magnetico.

Se il filo fa colla direzione del campo magnetico un angolo diverso dal retto, la direzione della forza è ancora la stessa come per la posizione ad angolo retto, ma la sua intensità è minore. Nel solo caso che la direzione della corrente coincida colla direzione del campo magnetico, la forza è nulla.

L'intensità della forza, che agisce su di un filo unico, è nella maggior parte dei casi piccola, ma sistemando molti fili in un campo magnetico molto intenso, si otterranno delle forze grandissime. Su questi principi è basato l'effetto rotante dei motori elettrici. (Par. 96).

H Induttanza.

44. Concatenamento dei circuiti con linee di flusso magnetico. — Intorno ad una corrente elettrica si ha sempre un campo magnetico. Le linee di flusso magnetico sono curve chiuse, ed il circuito magnetico è pure chiuso. Le linee di flusso magnetico si possono quindi immaginare sempre come concatenate colle spire del filo del circuito (Fig. 64). Il numero delle

linee di flusso, concatenate con una spira, dipende dalla corrente: variando l'intensità della corrente, varia il numero delle linee di flusso. Se le spire sono due, concatenano due volte lo stesso flusso magnetico, e così per qualunque numero di spire, il numero dei concatenamenti aumenta coll'aumentare del numero delle spire. Il simbolo Φ rappresenti il numero delle linee di flusso magnetico, N il numero dei concatenamenti, ed n il numero delle spire del filo. Il numero dei concatenamenti sarà

$$N=n\Phi \tag{49}$$

Si può produrre una variazione di N: *(a)* con una variazione di Φ dovuta ad una variazione della corrente, o *(b)* con una variazione del numero delle spire di filo.

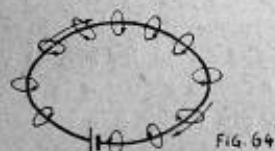
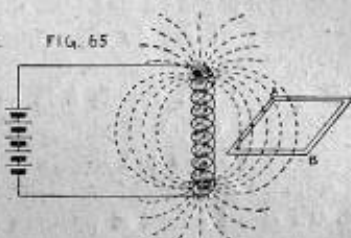
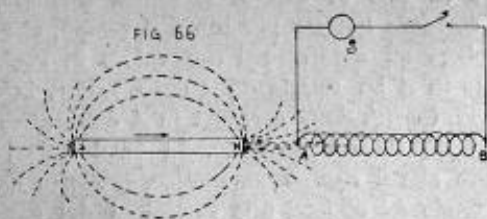
Poniamo ora vicina ad una sbarra magnetica o ad un solenoide, attraversato da corrente, una spira di filo non collegata ad una batteria. Alcune delle linee di flusso passeranno attraverso la spira. Il numero di queste linee potrà indicarsi con Φ come nel caso precedente, e ciascuna delle spire di filo si concatenerà colle linee di flusso. Il numero dei concatenamenti sarà

$$N=n\Phi \tag{50}$$

espressione identica alla (49).

Si può variare il numero delle linee di flusso concatenate coll'avvolgimento, cambiando il numero delle spire di filo, o la posizione dell'avvolgimento, col farlo ruotare o spostare rispetto al magnete. Se si usa un solenoide, la variazione delle linee di flusso concatenate si può anche ottenere da una variazione dell'intensità della corrente, che circola nelle spire.

45. **Forza elettromotrice indotta.** — Tutte le volte che si ha una variazione nel numero dei concatenamenti fra le linee di flusso magnetico e le spire di filo, si produce sempre nel circuito una f. e. m. indotta. Se il circuito è chiuso, in esso si avrà una corrente. Nei seguenti paragrafi sono descritti alcuni casi tipici di f. e. m. indotta.

1. Si spinga una sbarra magnetica nell'interno di un solenoide (Fig. 66). Durante il tempo, nel quale il magnete si muove verso il solenoide, si hanno nel galvanometro g indicazioni di corrente in un certo senso; se poi il magnete si tira fuori dal solenoide, il galvanometro indica una corrente di segno opposto. La direzione della corrente indotta è sempre tale da opporsi alla variazione alla quale è dovuta: e infatti, quando il magnete si

Linee di forza concatenate colla corrente

Linee di forza di un solenoide concatenati col circuito A-B

Produzione di f.e.m. indotte in un avvolgimento nel quale si introduce una sbarra magnetica

avvicina al solenoide, la corrente circola da A a B, cosicchè A è un polo nord, e di conseguenza il magnete è respinto. Lasciando aperto l'interruttore, non si può avere nel solenoide alcuna corrente indotta. Se invece esso è chiuso, nel solenoide si ha una corrente indotta, che crea un campo magnetico intorno al solenoide. Si può dimostrare che, per muovere il magnete rispetto al solenoide, quando l'interruttore è chiuso, occorre svi-

luppare un lavoro maggiore, di quando esso è aperto. Queste constatazioni sono riassunte nella legge di Lenz, la quale stabilisce che: *ogni qualvolta, per effetto di qualche variazione del numero dei concatenamenti, si genera in un circuito una f. e. m. indotta, la direzione del campo magnetico, dovuto alla corrente indotta, è tale da opporsi alla variazione del numero dei concatenamenti.* Una illustrazione meccanica della legge di Lenz si ha, considerando lo sforzo necessario a muovere un corpo, che sia in quiete. Poichè ogni corpo ha una massa, per muoverlo occorre applicargli una forza; al rapido spostamento del corpo si oppone una sensibile forza di reazione. Questa forza reagente sarà tanto maggiore quanto più rapida è la variazione di moto, che si vuol imprimere al corpo. Similmente, nel circuito elettrico la f. e. m. indotta sarà tanto più intensa, quanto più rapida è la variazione del numero dei concatenamenti.

2. Gli stessi effetti si possono ottenere, se si sostituisce alla sbarra magnetica un solenoide attraversato da corrente.

3. Effetti identici si hanno in due solenoidi disposti come in Fig. 67. Se in uno di essi *A* si lancia corrente, si ha nell'altro una corrente indotta per tutto il tempo, che la corrente in *A* impiega ad assumere il suo valore di regime. Appena la corrente in *A* ha raggiunto questo valore, la corrente in *B* cessa: se l'intensità della corrente in *A* diminuisce la corrente in *B* inverte la sua direzione. In tutti questi esempi si deve ricordare che il campo magnetico, prodotto dalla corrente indotta, tende ad opporsi alle variazioni del campo magnetico, che danno origine alla corrente indotta stessa.

4. Un altro esempio di correnti indotte si ha nel caso di due fili rettilinei, (Fig. 68, 69) assai vicini. Se in uno di essi la corrente subisce delle variazioni di intensità in un senso qualunque, si manifestano nell'altro delle correnti indotte. Questo fenomeno si riscontra in quelle linee telefoniche, nelle quali per sovrapposizione di conversazioni, o per interferenza con linee di corrente alternata ad alta tensione, si hanno noiosi disturbi. Benchè si sia parlato di fili rettilinei e paralleli, non si deve dimenticare il fatto che si tratta di circuiti completamente chiusi.

L'intensità della f. e. m. indotta dipende, in tutti i casi sopra considerati, dalla misura dell'intervallo di tempo, durante il quale avviene la variazione del numero dei concatenamenti. Ciò si può esprimere colla relazione:

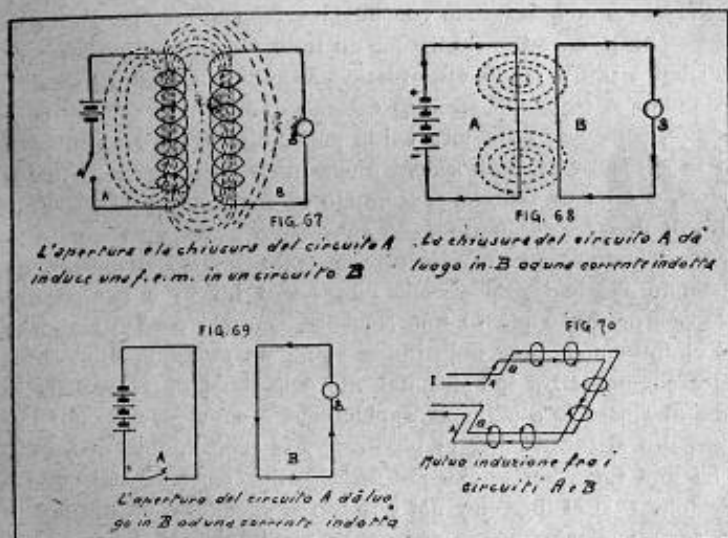
$$E=\frac{N}{t}=\frac{n\Phi}{t} \tag{51}$$

dove t è il tempo in secondi, nel quale la variazione $n\Phi$ av-

FIG. 67 — L'apertura e la chiusura del circuito A induce una f. e. m. in un circuito B

FIG. 68 — La chiusura del circuito A dà luogo in B ad una corrente indotta

FIG. 69 — L'apertura del circuito A dà luogo in B ad una corrente indotta

FIG. 70 — Mutua induzione fra i circuiti A e B

viene. Questo principio è la base delle macchine dinamo-elettriche.

46. Autoinduzione. — Quando, come avviene in fig. 64, si ha corrente in un'unica spira, il flusso magnetico Φ concatenato colla spira (e quindi il numero dei concatenamenti N) è direttamente proporzionale alla intensità della corrente. Si può quindi scrivere:

$$N=LI \tag{52}$$

L dicesi « autoinduzione » o semplicemente « induttanza » del circuito.

Il valore di E dipende dal numero delle spire di filo, dalla loro forma e dimensioni, e dalla permeabilità del mezzo, nel quale le linee di flusso si chiudono. La permeabilità dell'aria è 1. In generale, a meno che non si tratti di spire avvolte su ferro, il valore di L non dipende dalla intensità della corrente, che circola nelle spire. Inserendo in un circuito un solenoide, l'induttanza totale del circuito cresce notevolmente. Il solenoide costituisce una induttanza concentrata. Non si deve però dimenticare che il circuito intero ha un'induttanza, che può essere distribuita più o meno uniformemente lungo il circuito stesso.

Quando si chiude il circuito esterno di una pila con un conduttore, collegando fra loro i due poli della pila, tra i punti in cui la chiusura avviene scocca una scintilla, che, in una camera oscura, è appena visibile. Inserendo in serie colla pila alcune spire di filo, specialmente se le spire sono avvolte su nucleo di ferro, si hanno scintille più nutrite. Questo fatto si spiega, riflettendo che la tensione della pila, (circa 1.5 V) è troppo debole per produrre più di una scintilla. Quando però si inserisce nel circuito una forte induttanza, si ha un notevole numero di concatenamenti fra le spire del filo e le linee di flusso. Se le linee di flusso si dileguano rapidamente, come accade quando il circuito si interrompe in un intervallo piccolissimo di tempo, si ha una forte variazione nel numero dei concatenamenti. La relazione (51) ci dice che nel circuito si genererà una notevole f. e. m. di autoinduzione. Questo principio si applica nei dispositivi di ignizione e nei rocchetti di induzione di vario tipo. Per la legge di Lenz, la f. e. m. indotta ha una direzione tale che il campo magnetico da essa prodotto compensa le variazioni di campo, che l'hanno fatta nascere. Quando interrompiamo il circuito, la corrente varia da I a zero: perciò la f. e. m. indotta ha la stessa direzione della corrente e tende a mantenerla, anche dopo l'interruzione del circuito. Quando invece si chiudono i poli di una pila sopra una forte induttanza, la corrente si porta man mano all'intensità di regime: mentre la corrente va au-

mentando, si sviluppa una f. e. m. indotta, che contrasta l'accrescere della corrente.

47. Mutua induzione. — Consideriamo il circuito AA, (fig 70) percorso dalla corrente I. Il flusso magnetico, che attraversa A è direttamente proporzionale ad I; e quella parte del flusso totale, che si concatena col circuito vicino B, è pure proporzionale ad I. Ciò significa che il numero totale N dei concatenamenti fra le linee di flusso, che si sviluppano nel circuito A, e le spire di filo del circuito B, è proporzionale alla corrente I del circuito A. Possiamo cioè scrivere:

$$N=MI \tag{53}$$

dove M è la costante di proporzionalità. Il fattore M dicesi « induzione mutua » dei due circuiti. Quando nel circuito A la corrente si stabilisce, cessa, o comunque varia la sua intensità, la mutua induzione si manifesta con una f. e. m. indotta nell'avvolgimento B, che può essere espressa dalla relazione:

$$E=M\frac{I'}{t} \tag{54}$$

nella quale I' è la quantità, di cui è variata nel tempo t la corrente nel circuito A.

Nei circuiti radiotelegrafici si ricorre spesso ai fenomeni di mutua induzione, per trasferire dell'energia da un circuito ad un altro, quando i due circuiti siano distinti.

48. Espressione dell'energia nei circuiti induttivi. — In meccanica è noto che un corpo non si può porre in moto da sè, senza che dell'energia gli sia fornita dall'esterno. Così in un circuito elettrico non può circolare una corrente, senza che dell'energia sia fornita al circuito da qualche generatore (sorgente di f. e. m.). Si è già detto che intorno ai circuiti elettrici si sviluppa un campo magnetico. Quando questo campo si dilegua o scompare, l'energia accumulata nel campo è restituita al cir-

cuito. Si può dimostrare che l'energia, in tal modo associata ad un campo magnetico, è espressa dalla relazione

$$W = \frac{1}{2} L I^2 \tag{55}$$

nella quale I è l'intensità della corrente ed L è l'autoinduzione. Lo studioso, che ha familiarità colle leggi della meccanica, noterà che questa relazione è analoga a quella dell'energia cinetica di un corpo in movimento

$$\text{Energia cinetica} = \frac{1}{2} m v^2$$

dove m è la massa del corpo e v è la sua velocità.

Illustrazione del concetto di induttanza. — Quando si vuole piantare un chiodo in un pezzo di legno, il solo peso del martello a riposo sulla testa del chiodo è insufficiente allo scopo. Sollevando invece il martello, e permettendogli di acquistare notevole velocità, esso accumula grande energia cinetica, e quando il martello si ferma contro il chiodo, questa energia è spesa nel forzare il chiodo nel legno. Analogamente, l'interruzione di un circuito elettrico, nel quale agisce la sola debole f. e. m. di una pila, dà luogo soltanto ad una piccola scintilla. Un circuito invece, che comprenda molte spire di filo, rappresenta dell'energia accumulata, come ci dice la relazione (55): anche se la corrente è poco intensa, purchè però L sia forte, l'energia accumulata nel campo magnetico è notevole. Nell'istante in cui, per l'interruzione del circuito il campo scompare, questa grande quantità di energia viene subito realizzata, e ne risulta una nutrita scintilla di considerevole lunghezza.

Le relazioni fra la capacità, l'induttanza e la resistenza saranno più estesamente trattate nel capitolo 3.

I. Corrente alternata.

49. **Reattanza.** — Una corrente di intensità costante, che circoli in un circuito, non incontra altro ostacolo che la resistenza del circuito stesso. Ciò non è più vero se la corrente è di in-

tensità variabile. In un circuito, che abbia induttanza, alla corrente si oppone la f. e. m. indotta dalle variazioni della corrente stessa (par. 46). Se nel circuito è inserito un condensatore, esso periodicamente si carica e si scarica, a seconda dei valori, che la corrente assume, ed esercita un'azione di controllo sulla corrente. In un circuito, che abbia induttanza e capacità i loro effetti tendono a compensarsi l'un l'altro, ma in generale gli effetti di una delle due predominano, ed alla resistenza viene ad aggiungersi una nuova opposizione alla corrente, che chiamasi « reattanza ».

Più rapide sono le variazioni della corrente, più intensa è la f. e. m. indotta in un circuito; e di conseguenza più notevole la reattanza induttiva. Al contrario, quanto più rapidamente la corrente varia, tanto minore è la reattanza di un condensatore; ciò che si può intuire facilmente, riflettendo che, quanto maggiore è il numero delle cariche e scariche del condensatore al secondo, tanto maggiore è la quantità totale di elettricità, che in questo intervallo di tempo passa nel circuito, cioè più intensa è la corrente. In generale in un circuito radiotelegrafico la reattanza ha valori assai più forti della resistenza.

Per calcolare quindi l'intensità della corrente in un circuito radiotelegrafico è necessario saperne determinare la reattanza, la quale, componendosi colla resistenza, dà luogo ad un effetto complessivo o « impedenza ». Poichè la reattanza dipende dal modo col quale la corrente varia, è evidente che la legge di variazione della corrente deve essere in ciascun caso esattamente definita. Il problema non può essere risolto per tutte le infinite leggi di variazione possibili. Tuttavia le correnti radiotelegrafiche appartengono alla classe generale delle correnti alternate, e per queste la teoria è abbastanza semplice. Nei paragrafi seguenti si dà una breve trattazione, non della teoria generale delle correnti alternate, ma soltanto di quei principi delle correnti alternate, che sono essenziali per comprenderne il comportamento nei circuiti radiotelegrafici.

50. Natura della corrente alternata. — La corrente alternata è una forma di corrente, nella quale l'elettricità fluisce in un

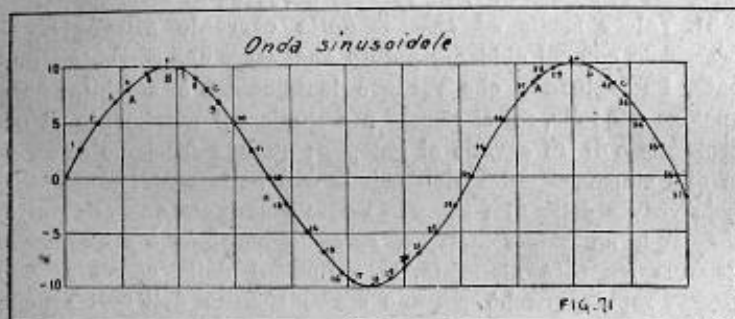
circuito prima in un senso e poi nel senso opposto; ed il valore massimo, che la corrente assume in un senso, è uguale al valore massimo della corrente nell'altro senso. La corrente assume periodicamente, e a intervalli di tempo regolari, tutti i suoi valori positivi e negativi.

Onda sinoidale. — Per poterci chiaramente rappresentare una corrente alternata, consideriamo il caso, nel quale le alternative si succedano così lentamente, che un amperometro possa indicarcele. Nella tavola, che segue, sono riportati i valori della cosidetta «corrente ad onda sinoidale» a intervalli di tempo eguali. La corrente considerata ha un valore massimo di 10 *A*.

Tempo (sec.)	Corrente (amp.)	Tempo (sec.)	Corrente (amp.)	Tempo (sec.)	Corrente (amp.)
0	0	13	— 2.59	25	2.59
1	2.59	14	— 5.00	26	5.00
2	5.00	15	— 7.07	27	7.07
3	7.07	16	— 8.66	28	8.66
4	8.66	17	— 9.66	29	9.66
5	9.66	18	—10.00	30	10.00
6	10.00	19	— 9.66	31	9.66
7	9.66	20	— 8.66	32	8.66
8	8.66	21	— 7.07	33	7.07
9	7.07	22	— 5.00	34	5.00
10	5.00	23	— 2.59	35	2.59
11	2.59	24	0	36	0
12	0				

L'indice dell'amperometro nel nostro caso dovrebbe spostarsi lentamente fino alla massima indicazione di 10 ampere, ritornare gradualmente a zero, invertire il senso del suo moto e indicare un'intensità di 10 ampere nel senso opposto; poi ripassare per zero, spostarsi di nuovo nel senso primitivo e così di seguito. Naturalmente la corrente assume successivamente tutti i valori compresi fra zero ed il massimo (10 ampere), ed in ogni istante ha la stessa intensità in ciascun punto del circuito. La corrente alternata, a somiglianza di quella continua, si può quindi considerare come il passaggio di un fluido incompressibile; e la f. e. m. alternativa come una pressione elettrica, in questo caso di va-

lore variabile, che agisce prima in un senso e poi nel senso opposto.

I valori di corrente della tavola precedente sono riportati in Fig. 71 come ordinate di un diagramma, di cui le ascisse sono gli intervalli di tempo, trascorsi dall'istante, in cui la corrente ha cominciato a fluire; una curva piana, che raccordi i diversi punti, permette di determinare qual'è il valore della corrente in ciascun istante. Da notare che la corrente varia periodicamente: così nella tavola la corrente ha lo stesso valore e senso al 1° ed al 25° secondo; al 7° ed al 31° secondo, ecc. Nell'esempio considerato l'intervallo di 24 secondi è il «periodo» di questa

corrente alternata. La corrente passa attraverso un «ciclo» completo di variazioni in un periodo.

Una corrente simile a quella ora considerata si produrrebbe in un circuito, che fosse collegato ad una spira, che ruotasse molto lentamente in un campo magnetico uniforme. (Cap. 3 Par. 62). Il movimento si è supposto lento, perchè le variazioni potessero essere seguite da un ordinario strumento per corrente continua. Se vogliamo rappresentarci la corrente prodotta da un generatore di corrente alternata a bassa frequenza, dobbiamo immaginare che il suo avvolgimento ruoti con velocità mille volte maggiore. Gli ordinari circuiti di illuminazione a corrente alternata sono ad esempio percorsi da correnti, il cui periodo è solo circa $\frac{1}{60}$ di secondo.

La corrente passa ad ogni secondo attraverso 60 periodi com-

pleti, cioè la sua « frequenza » è di 60 periodi al secondo. Pei generatori a corrente alternata non si può far uso di campi magnetici assolutamente uniformi, cosicchè il diagramma della corrente prodotta non riproduce esattamente l'andamento della corrente sinoidale, tracciato nella Fig. 71. Tuttavia nelle macchine ben progettate la differenza è così piccola che si può trascurare.

La frequenza delle correnti radiotelegrafiche è enormemente maggiore di quella delle usuali correnti alternate a bassa frequenza. Perchè la Fig. 71 possa rappresentare esattamente una corrente radiotelegrafica, si deve supporre che un periodo completo sia compiuto p. e. in $\frac{1}{1000000}$ o $\frac{1}{100000}$ di secondo.

51. Valore medio ed efficace della corrente alternata. — L'artificio, con cui abbiamo potuto analizzare una corrente alternata, immaginando che variasse lentamente, è assolutamente analogo a quello, cui si ricorre per studiare il movimento di un proiettile o di un cavallo al galoppo; quando facciamo scorrere la film cinematografica dell'azione così lentamente, che le singole vedute della film possano essere esaminate una alla volta.

Quando un amperometro a corrente continua è attraversato da una corrente alternata, le variazioni della corrente sono troppo rapide, perchè possano essere seguite dall'indice dello strumento. Si può soltanto concepire una posizione media dell'indice, corrispondente alla media di tutti i valori assunti dalla corrente durante un periodo. Ma, poichè la corrente assume gli stessi valori, sia in un senso che nell'altro, il valore medio durante un periodo è zero. Si può dimostrare quanto sopra, inserendo un amperometro a corrente continua in un circuito a corrente alternata. L'ago dell'amperometro rimane sullo zero, o mostra soltanto delle trepidazioni intorno allo zero. Le stesse osservazioni si applicano ad un volmetro a corrente continua, che si inserisca in un circuito a corrente alternata.

I volmetri e gli amperometri a corrente alternata indicano i valori efficaci. — I volmetri e gli amperometri a corrente alternata possono essere di tipi diversi (a filo caldo, elettrodinamici, o elettrostatici (par. 60); ma tutti danno sempre deviazioni in un unico senso, comunque vari il senso della corrente, che li attra-

versa. La coppia deviatrice della parte mobile di uno di questi strumenti è, ad ogni istante, proporzionale al quadrato della corrente. La deviazione media dell'indice è perciò proporzionale alla media dei quadrati di tutti i valori, che la corrente assume in un periodo. Si può dimostrare che, se la corrente è esattamente sinoidale, la media dei quadrati dei valori della corrente in un periodo, è la metà del quadrato del valore massimo.

Corrente continua equivalente. — L'effetto termico di una corrente é in ogni istante proporzionale al quadrato del suo valore istantaneo. Quindi l'effetto termico medio di una corrente alternata deve essere proporzionale alla media dei quadrati di tutti i valori assunti dalla corrente durante un periodo, o per quanto si è detto, alla metà del quadrato della corrente massima. Lo stesso effetto termico sarebbe naturalmente prodotto da una corrente continua, il cui quadrato fosse eguale alla media dei quadrati della corrente alternata, in un intero periodo. La «corrente efficace» è dunque definita dall'intensità di una corrente continua che produca, nel circuito in questione, lo stesso effetto termico.

Poichè il quadrato della corrente efficace è eguale alla metà del quadrato del valore massimo, il valore efficace della corrente sarà:

$$I = \sqrt{\frac{(\text{val. massimo})^2}{2}} \qquad (56)$$

ossia si otterrà, dividendo il valore massimo per $\sqrt{2}$, o, ciò che è lo stesso, moltiplicandolo per 0,707.

La corrente efficace nell'esempio prima trattato è 7,07 ampere, e questo valore di corrente è indicato da un amperometro a corrente alternata inserito nel circuito, sebbene la corrente vari fra 10 ampere in un senso e 10 nell'altro. Lo stesso effetto termico si otterrebbe, se nel circuito circolasse una corrente continua di 7,07 ampere. Analogamente un volmetro a corrente alternata indicherà sempre il valore efficace della tensione, che è eguale al valore massimo moltiplicato per 0.707.

52. Circuito con sola resistenza. — Immaginiamo un circuito composto da una resistenza di R ohm., e da una induttanza e una capacità così piccole da potersi trascurare, e applichiamo al circuito una f. e. m. alternata di forma sinoidale.

L'intensità della corrente sarà in ogni istante data dal rapporto fra il valore istantaneo della f. e. m. e la resistenza del circuito. La corrente è nulla negli istanti, in cui la f. e. m. è zero, ed è massima quando la f. e. m. è massima. Infatti le variazioni di corrente procedono collo stesso ritmo di quelle della f. e. m. Si dice allora che la corrente e la f. e. m. sono «in fase» od hanno «angolo di fase» zero. Poichè i valori efficaci della f. e. m. e della corrente sono espressi dalla stessa frazione dei rispettivi valori massimi, la corrente efficace I si calcolerà dalla f. e. m. efficace E colla relazione

$$I = \frac{E}{R} \tag{57}$$

Cioè, in questo caso speciale, si può applicare la legge di Ohm anche ad un circuito percorso da corrente alternata. Un circuito di ordinarie lampade ad incandescenza si approssima a questo circuito ideale.

La potenza assorbita dal circuito è in ogni istante eguale al prodotto dei valori istantanei della corrente e della f. e. m. La potenza media in un intero periodo è eguale al prodotto della corrente efficace per la f. e. m. efficace cioè, P media $= I\ E$. Questa potenza va tutta spesa nella resistenza R, la quale si riscalda.

53 **Fase ed angolo di fase.** — I valori di corrente riportati nella tavola precedente si riferiscono ad istanti definiti del periodo di variazione della corrente. Per ciascun periodo si ripetono gli stessi valori di corrente, ed ogni determinato valore di corrente si raggiunge ad un intervallo perfettamente definito del periodo. Ad esempio, ciascun massimo positivo capita esattamente ad un quarto di periodo dopo lo zero precedente. I punti A nella fig. 71 hanno la stessa fase; benchè appartengano

a due periodi diversi. La corrente ha lo stesso valore nei punti *C* e nei punti *A*, ma i punti *C* non sono nella stessa fase di quelli *A*, poichè in *A* la corrente è crescente ed in *C* la corrente è decrescente.

La fase è dunque quasi un aspetto della corrente, che si ripresenta nei punti corrispondenti di ciascun periodo successivo. La differenza di fase è la differenza di posizione nel periodo. E' meglio riferirla ad un intervallo di tempo espresso come frazione della lunghezza di un periodo. Così la differenza di fase dei punti *B* ed *O*, Fig. 71, è un quarto di periodo; quella dei punti *B* e *D* mezzo periodo, ecc. Si usa anche esprimere la differenza di fase con un angolo. La differenza di fase fra due punti all'intervallo di un periodo intero si considera equivalente all'angolo di un intera rivoluzione o circonferenza, cioè 360°. Un quarto di periodo è conseguentemente 90°, e, se due punti hanno differenza di fase di un quarto di periodo, si dice che hanno una differenza di fase di 90°, ecc.

Il concetto dell'angolo di fase è utile per confrontare due f. e. m., che agiscono contemporaneamente nello stesso circuito, o per confrontare in un circuito la corrente e la f. e. m., che la produce, quando non raggiungono il loro massimo nello stesso istante. La Fig. 72 rappresenta le curve della f. e. m. e della corrente in un circuito, in cui la f. e. m. e la corrente differiscono in fase di circa un ottavo di periodo; esse hanno un angolo di fase di circa 45°.

Quando in un circuito si ha sola resistenza senza induttanza o capacità, la f. e. m. e la corrente sono in fase, o l'angolo di fase è zero. Le loro onde, rappresentate nella Fig. 73, passano per lo zero, e raggiungono i loro valori massimi negli stessi istanti.

Due f. e. m. in opposizione di fase sono rappresentate dalla Fig. 74; le due f. e. m., sebbene passino per lo zero nello stesso istante, negli altri istanti agiscono una in direzione opposta all'altra. Il loro angolo di fase è 180°. In ogni circuito in serie in cui la reattanza non è nulla, la f. e. m. applicata e la corrente hanno una differenza di fase.

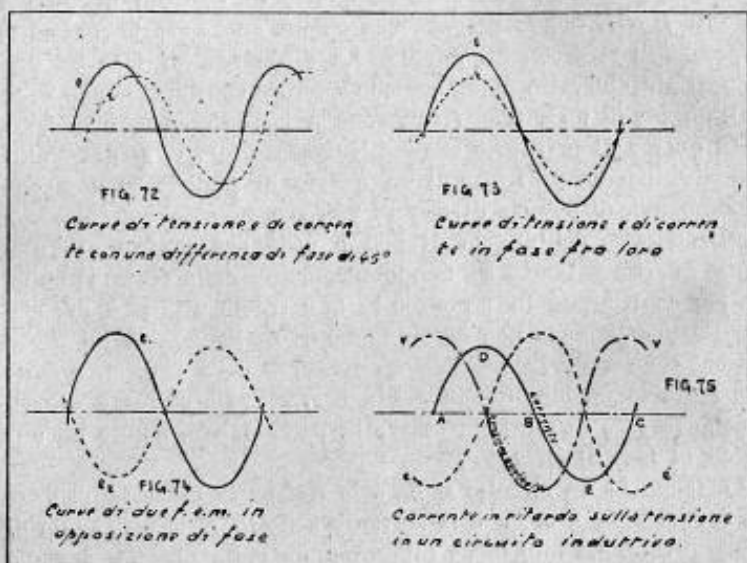
54. Circuito contenente soltanto induttanza. — Un circuito di questo tipo si potrebbe approssimativamente rappresentare con un grande rocchetto di induttanza di filo così grosso, da opporre alla corrente una piccolissima resistenza.

Se al circuito si applica una f. e. m. alternativa, circolerà in esso una corrente alternata, e le variazioni di corrente indurranno nel circuito una f. e. m., che è tanto maggiore, quanto più grande è l'induttanza, e quanto più rapidamente la corrente varia, cioè quanto più elevata è la frequenza della corrente.

Curve di tensione e di corrente con una differenza di fase di 45°

Curve di tensione e di corrente in fase fra loro

Curve di due f. e. m. in opposizione di fase

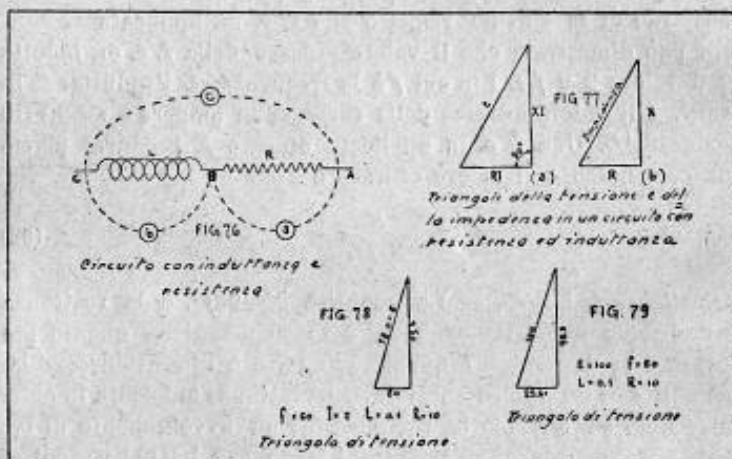
Corrente in ritardo sulla tensione in un circuito induttivo.

La corrente *i* varia più rapidamente nei punti *A*, *B* e *C* (Fig. 75) dove passa per il valore zero; la f. e. m. indotta deve perciò essere massima in questi punti. Poichè essa si oppone sempre alla variazione di corrente, deve avere il suo massimo valore negativo nei punti *A* e *C*, ed il suo massimo valore positivo al punto *B*. Nei punti *D* ed *E* la corrente per un istante non varia, cosicchè la f. e. m. indotta in quell'istante è nulla.

Non è difficile dimostrare che, quando la corrente alternativa è sinoidale, anche la f. e. m. alternativa indotta è sinoidale, come è indicato nella curva *e* della Fig. 75.
In un circuito di questo tipo, la tensione applicata non compie altro ufficio che di compensare la f. e. m. indotta: di conseguenza f. e. m. applicata e indotta sono in ogni istante eguali e di segno opposto. L'onda di f. e. m. applicata è perciò la curva *v* (Fig. 75) disegnata in modo, che le sue ordinate siano esattamente eguali ed opposte a quelle della curva *e*. È evidente che la corrente ritarda nelle sue variazioni di un quarto di periodo rispetto alla f. e. m. applicata; si dice perciò che la corrente è in ritardo di fase di 90° rispetto alla f. e. m. applicata.

Si può dimostrare che il valore efficace della f. e. m. indotta ha il valore $2\pi f L I$ in cui f è la frequenza, L l'induttanza in henry, I il valore efficace della corrente in ampere e π=3.1416 o circa $3\ ^1/_7$. Una f. e. m. applicata efficace E produrrà perciò una corrente, il cui valore efficace è

$$I = \frac{E}{2\pi f L} \qquad (58)$$

Reattanza induttiva. — La quantità $X = 2\pi f L$ è la reattanza della bobina d'induttanza. Essa è tanto maggiore, quanto più elevata é la frequenza, e quanto più forte è l'induttanza, ed ha in molti casi un valore notevole. La reattanza si misura in ohm. Calcoliamo ad esempio la reattanza di un avvolgimento di 0,1 henry, percorso da una corrente di frequenza 100000 periodi al secondo. La reattanza sarà $X = 6{,}28 \times 3100000 \times 0{,}1 = 62.830$ ohm; nel nostro circuito cioè la corrente incontra la stessa opposizione, che offrirebbe una resistenza di 62,830 ohm. Tuttavia fra gli effetti di una induttanza e quelli di una resistenza esiste la differenza che nell'induttanza non si ha dissipazione di energia in calore. È bensì vero che, durante un mezzo periodo, dell'energia è sottratta al circuito, e si accumula nel campo magnetico intorno ad esso, ma nel mezzo periodo successivo il campo magnetico si distrugge, restituendo l'energia al circuito stesso, che, in tal modo non guadagna nè perde energia.

55. Circuito contenente induttanza e resistenza in serie. — È naturalmente impossibile realizzare un circuito assolutamente privo di resistenza. Di conseguenza, una parte della f. e. m. applicata è spesa per far circolare la corrente attraverso la resistenza. Per cui, se la corrente in un determinato istante ha il valore i, la f. e. m. necessaria per costringere la corrente ad attraversare la resistenza è $R\ i$, e quella che deve compensare la f. e. m. indotta è $X\ i$; la f. e. m. applicata avrà in quell'istante il vatore $e = Ri + Xi$. Questa semplice relazione lega il valore istantaneo della corrente al corrispondente valore istantaneo

della f. e. m: ma non può darci la misura della corrente efficace in funzione della tensione efficace applicata, per la ragione che le due f. e. m. $R\ i$ ed $X\ i$ non sono in fase. Quando la prima passa per il valore zero, l'altra è al suo massimo, e viceversa, cosicchè la somma delle due f. e. m. ha un valore massimo minore della somma dei valori massimi rispettivi.

Quanto sopra si può dimostrare colla seguente esperienza. Inseriamo in serie con una resistenza R una bobina d'induttanza L, e mediante tre volmetri a, b e c, (Fig. 76), misuriamo

la tensione fra i punti A e B, B e C ed A e C. Le tensioni indicate dai volmetri sono tensioni efficaci, e si trova che la lettura di c non è eguale alla somma delle letture di a e b, come si avrebbe se la corrente fosse continua.

Il volmetro a dà la caduta di tensione RI, ed il volmetro b la f. e. m. indotta XI, essendo I il valore efficace della corrente, che sarebbe misurata da un amperometro per corrente alternata inserito nel circuito. Analiticamente si dimostra che la lettura E del volmetro c è rappresentata dall'ipotenusa di un triangolo rettangolo, i cui lati sono RI ed XI (Fig. 77-*a*).

La f. e. m. efficace applicata E è perciò in tal caso vincolata alle tensioni RI ed XI dalla relazione seguente, che intercede fra i lati e l'ipotenusa di un triangolo rettangolo,

$$E^2=(RI)^2+(XI)^2=I^2(X^2+R^2) \tag{59}$$

Di conseguenza, il valore efficace della corrente in funzione della f. e. m. efficace applicata E, è:

$$I=\frac{E}{\sqrt{R^2+X^2}}$$

Impedenza. — La quantità $\sqrt{R^2+X^2}$ è nota col nome di « impedenza » del circuito. Essa nella teoria della corrente alternata ha il posto, che la resistenza occupa nella legge di Ohm: ed è vincolata alla resistenza e reattanza dalla relazione, che lega i lati di un triangolo rettangolo (Fig. 77-*b*).

Come esempio, supponiamo nella Fig. 78 che $L=0,1$ *henry*, $R=10$ *ohm*, $f=60$ periodi al secondo, e proponiamoci di trovare quale f. e. m. si debba applicare al circuito, perchè in esso circoli una corrente efficace di 32 ampere.

$$RI=20 \text{ volt}$$
$$X=6,283\times60\times0,1=37,7 \text{ ohm}$$
$$XI=75,4 \text{ volt}$$

La f. e. m. applicata deve perciò essere per la (59)

$$E=\sqrt{(20)^2+(75,4)^2}=78,0 \text{ volt}$$

Il problema inverso sarebbe il seguente: trovare quale corrente passa nel circuito, quando si applica una data f.e.m., per esempio di 100 volt. L'impedenza è $\sqrt{R^2+X^2}=\sqrt{(10)^2+(37,7)^2}=39$ *ohm*. Perciò la corrente sarà di $\frac{100}{39,0}=2,56$ *ampere*. La tensione ai capi della resistenza è $2,56\times10=25,6$ *volt*, e quella ai capi della reattanza $2,56\times37,7=95,5$ *volt*, cosicchè il triangolo delle tensioni è quello della Fig. 79.

Fattore di potenza. — La potenza dissipata in calore in questo circuito è evidentemente $I^2R=(2,56)^2\times10=65,5$ watt. Il prodotto della corrente efficace per la tensione efficace è $100\times2,56=256$ « volt-ampere ». Per ottenere da questo prodotto la potenza dissipata, è quindi necessario moltiplicarlo per $\frac{65,5}{256}=0,256$. Si noti che questo rapporto coincide coll'altro $\frac{10 \text{ ohm}}{39 \text{ ohm}}$. Il numero, per il quale si deve moltiplicare il prodotto dei volt-ampere per ottenere la potenza, dicesi « fattore di potenza ». Il fattore di potenza del circuito sopra considerato è 0,256. Un circuito con sola resistenza, senza induttanza o capacità, ha un fattore di potenza 1. Un circuito in risonanza (cap. 3) dà un altro esempio di fattore di potenza uguale a 1. In generale il fattore di potenza ha valori compresi fra zero ed 1. La potenza in un circuito si calcola quindi con la formula

$$P=EIF \tag{61}$$

nella quale il fattore di potenza F si ricava dalla relazione generale

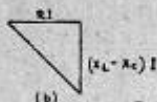
$$F=\frac{\text{resistenza}}{\text{impedenza}} \tag{62}$$

56. Circuito contenente capacità. — Una f. e. m. continua non può far circolare attraverso ad un condensatore una corrente continua. Quando si chiude il circuito, una corrente di carica passa nel condensatore, fino al momento in cui la f. e. m. del condensatore raggiunge il valore della tensione applicata. Se si toglie la tensione e le armature si collegano fra loro, si pro-

duce una corrente di scarica nel circuito esterno del condensatore, in direzione opposta alla corrente di carica. La scarica cessa quando le armature del condensatore sono allo stesso potenziale (par. 30).

Applicando invece una f. e. m. alternativa alle armature di un condensatore, una corrente alternativa passa attraverso ad esso, e nel circuito esterno la tensione fra le armature è in ogni istante eguale al valore istantaneo della f. e. m. applicata. La

Tensione e corrente di carica in un circuito capacitivo

Corrente in un circuito con L e C e tensione ai capi di L e di C.

Triangoli della tensione e della impedenza in un circuito con R, L, C

corrente è più intensa negli istanti, in cui la f. e. m. applicata varia più rapidamente; è zero nell'istante in cui la f. e. m. è stazionaria al suo valore massimo. Se la curva e (Fig. 80) rappresenta una f. e. m. alternativa sinoidale, si può dimostrare che la curva della corrente di carica è la i; la corrente di carica cioè è in anticipo di fase di 90° sulla f. e. m. applicata (al contrario di quanto avviene in un circuito induttivo). In generale la corrente di carica sarà tanto più intensa quanto mag-

giore è la capacità C, e quanto più elevata è la frequenza della f. e. m.

Reattanza di un condensatore. — Analiticamente si dimostra che il valore efficace della corrente di carica è $I = 2\pi fCE$. La reattanza del condensatore è di conseguenza:

$$X = \frac{E}{I} = \frac{1}{2\pi fC} \tag{63}$$

dove C è la capacità in farad. Questo dimostra che la reattanza di un condensatore è tanto più forte, quanto più piccola è la capacità e quanto più bassa la frequenza (al contrario di quanto avviene per la reattanza induttiva). Le reattanze, come già fu detto, si misurano in ohm. Si ha ad esempio che la reattanza di un condensatore da 0,1 micro-farad, a 60 periodi è

$$\frac{10^{6}}{6{,}283 \times 60 \times 0{,}1} = 26{,}500 \text{ ohm}$$

A 100.000 periodi, la sua reattanza è di soli 15,9 ohm. Da ciò deriva che un condensatore offre molto minore opposizione al passaggio di una corrente ad alta frequenza, che ad una corrente a bassa frequenza, e quindi che una data f. e. m. alternativa, applicata a un circuito con capacità, produce il passaggio di una corrente più intensa, se le alternative della corrente son rapide anzichè lente.

In un condensatore perfetto non si ha dissipazione di energia. L'energia si accumula nel dielettrico del condensatore durante la carica, ed è poi tutta restituita al circuito, quando il condensatore si scarica. Condensatori perfetti non ne esistono, e solo i condensatori ad aria, se ben costruiti, hanno un comportamento non troppo dissimile da quello dei condensatori perfetti. Nei condensatori a dielettrico solido si ha sempre dissipazione di calore in misura sensibile nel dielettrico, e tali condensatori si comportano come se in serie con essi ci fosse una resistenza. L'entità di questa ipotetica resistenza in serie

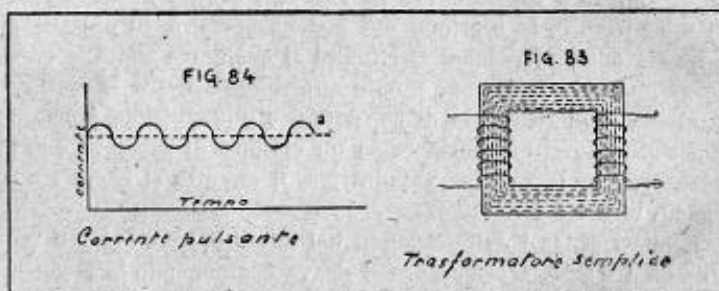
dipende dalla capacità, dalla frequenza e dalla natura del dielettrico: essa è tanto minore quanto più elevata è la capacità e, in generale, è inversamente proporzionale alla frequenza.

57. **Circuito contenente capacità, induttanza e resistenza in serie.** — Applicando ad un circuito, costituito da un'induttanza e da una capacità in serie, una f. e. m. alternativa, la corrente ha la stessa intensità in tutti i punti del circuito; invece la tensione ai capi del condensatore è $X_c\, i$, e quella ai capi dell'induttanza è $X_L\, i$, dove i è la corrente istantanea, X_L è la reattanza della bobina, ed X_c la reattanza del condensatore. Le curve di queste tensioni si hanno dalla composizione di quelle delle Fig. 75 e 80. Le curve $X_L\, i$ ed $X_c\, i$ (Fig. 81) indicano che, in ogni istante, la tensione del condensatore è in opposizione a quella dell'induttanza. Il circuito si comporta come se possedesse una sola reattanza eguale alla differenza fra la reattanza induttiva e la reattanza di capacità. Se quest'ultima è maggiore, il circuito si comporta come un circuito di capacità, e se invece prevale la reattanza induttiva, il circuito si comporta come un circuito induttivo.

I valori efficaci delle tensioni nel circuito, sono indicati nelle Fig. 82-*a* e 82-*b*. L'impedenza si ricava componendo la resistenza e la reattanza risultante nel diagramma a triangolo della Fig. 82-*c*. L'impedenza è quindi espressa da:

$$Z=\sqrt{R+(X_L-X_c)^2} \qquad (64)$$

58. **Il trasformatore a corrente alternata.** — Rammentando i principi delle correnti indotte, esposti nel par. 45, è evidente che, quando in un circuito circola una corrente alternata, il campo magnetico alternativo attraversa i circuiti vicini ed induce in questi una f. e. m. alternativa. Questa f. e. m. indotta, dipenderà dalla mutua induzione dei due circuiti (par. 47), dall'intensità efficace e dalla frequenza della corrente nel circuito inducente. Si può dimostrare che se I è il valore efficace della corrente, M la mutua induzione ed f la frequenza, il valore efficace della f. e. m. indotta sarà $2\pi fMI$. Quando si opera con

frequenze basse, si fa in modo che M sia grande al possibile, avvolgendo i due circuiti su di un nucleo di ferro, cosicchè quasi tutto il flusso magnetico prodotto dalla corrente attraversa il secondo circuito. Questo dispositivo dicesi « trasformatore » (Fig. 83). La tensione indotta sta alla tensione applicata nel rapporto del numero delle spire dei due avvolgimenti, e la tensione maggiore si ricava nel circuito che ha maggior numero di spire. Così, se un avvolgimento ha 1000 spire e l'altro 100, ed a quest'ultimo si applica una f. e m. di 200 volt, nel primo si induce una f. e. m. di 2000 volt. Le correnti dei due circuiti stanno presso a poco nel rapporto inverso del numero

delle spire, e la corrente più intensa si ha nel circuito a tensione minore.

Alle frequenze radiotelegrafiche l'efficacia del ferro per accrescere il flusso magnetico non è così notevole come alle basse frequenze (vedi nota a par. 42). Per aumentare la mutua induzione, gli avvolgimenti si fanno di grandi dimensioni e vicini l'uno all'altro: e generalmente non si usa il nucleo di ferro. Per una trattazione più completa dell'argomento vedi par. 131 sull'accoppiamento dei circuiti.

Un tipo di trasformatore assai usato per frequenze radiotelegrafiche è quello, che trasforma una corrente pulsativa in corrente alternata. Nelle valvole ioniche ad esempio, impiegate per amplificare i segnali ricevuti, par. 194 cap. 6, la corrente anodica pulsativa si invia nel primario di un trasformatore, e

dà luogo nel secondario ad una f. e. m. alternativa amplificata; questa f. e. m. si applica al circuito di griglia di una seconda valvola ionica, e così di seguito. Una corrente pulsante, (curva *a* fig. 84) può evidentemente considerarsi come composta di una corrente continua (linea tratteggiata) e di una corrente alternativa. La corrente continua non ha alcun effetto, mentre la componente alternativa induce nel circuito secondario una f. e. m. alternata.

J. Strumenti di misura.

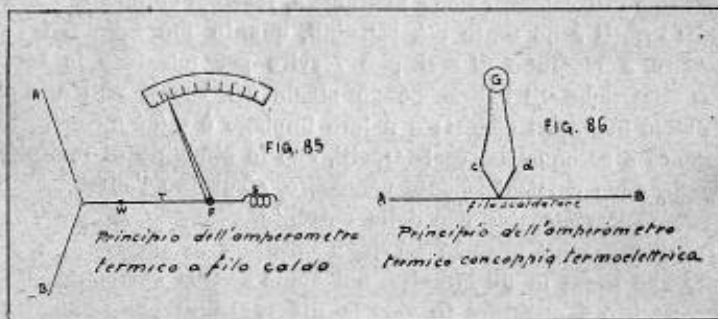
Da quanto è stato detto appare evidente che la presenza di una corrente elettrica può essere rivelata dai seguenti effetti: produzione di calore, azione magnetica, reazioni chimiche. Tutti questi effetti sono tanto più sensibili, quanto più intensa è la corrente, e ciascuno di essi può servire per misurare le correnti elettriche. Si hanno perciò strumenti basati sull'uno o sull'altro di questi effetti; e il loro impiego è più o meno conveniente a seconda dei casi. Quelli, che lo studente di radiotelegrafia deve particolarmente conoscere, sfruttano l'effetto magnetico e l'effetto termico della corrente.

Detti strumenti possono servire a misurare in ampere la corrente, che passa in un circuito, nel quale caso si chiamano amperometri, o a misurare in volt la differenza di potenziale fra due punti, nel qual caso diconsi volmetri.

59. **Strumenti a filo caldo.** — Le correnti di frequenza radiotelegrafica si misurano generalmente per mezzo di strumenti le cui indicazioni dipendono dal riscaldamento di un filo o di una striscia metallica. Essi si dicono perciò amperometri « termici », e si dividono ancora in due classi principali: strumenti a dilatazione e a coppia termoelettrica. I primi si basano sulla proprietà che un filo o una striscia metallica, quando riscaldati, si allungano. La Fig. 85 ne illustra il principio. La corrente da misurare passa lungo il filo *A B*, di materiale sufficientemente resistente: riscaldandosi, esso si dilata e permette alla molla *S*, che agisce pel tramite del filo *T*, di contrarsi. Il filo è avvolto

sulla puleggia *P*, la cui rotazione produce il movimento di un indice sopra una scala graduata per un intervallo maggiore o minore, a seconda del valore della corrente in *A B*. La scala è graduata in ampere, cosicchè la posizione dell'indice indica direttamente l'intensità della corrente.

Gli amperometri del tipo a coppia termoelettrica utilizzano il principio che, quando la superficie di contatto di due metalli differenti viene riscaldata, si sviluppa una f. e. m. (par. 15). Una coppia di metalli usati a questo scopo costituisce una coppia termo-elettrica. Il valore della f. e. m. dipende dai metalli impiegati e cresce ordinariamente coll'aumentare della temperatura.

Nella Fig. 86 la coppia termoelettrica è costituita da due fili

c e *d*, ed il punto di contatto dei due fili è assai vicino al filo scaldatore *A B* nel quale circola la corrente di frequenza radiotelegrafica. La f. e. m., prodotta dal calore nel punto di contatto agisce nel millivolmetro *G*, del tipo indicato nella Fig. 88 e fa deviare l'indice; la deviazione è proporzionale all'intensità della corrente continua, che circola nello strumento, come si spiegherà nel prossimo paragrafo.

Si deve notare che il calore prodotto da una corrente alternata di un certo numero di ampere, è eguale a quello prodotto dallo stesso numero di ampere di corrente continua. Infatti nella teoria della corrente alternata si definisce per ampere l'in-

tensità di una corrente alternata, tale da produrre in un conduttore lo stesso calore, che sviluppa un ampere di corrente continua (par. 51). La f. e. m., che si produce nel contatto, non dipende dal senso della corrente in *A B*, ma unicamente dalla quantità di calore prodotto. Tale f. e. m. ha sempre lo stesso senso; essa può perciò essere misurata da uno strumento a corrente continua. In tal modo una coppia termoelettrica è atta a misurare correnti ad alta frequenza.

Il calore sviluppato varia col quadrato della corrente, e la f. e. m. della coppia termoelettrica dipende quasi esattamente dalla quantità di calore sviluppato, cosicchè le indicazioni degli amperometri del tipo termico variano praticamente col quadrato della corrente. Di conseguenza, la scala degli amperometri termici non è uniforme, essendo più diradata in fine che in principio.

Nella Fig. 86 la coppia termoelettrica è separata dal resto dello strumento; negli amperometri commerciali invece la coppia e lo strumento indicatore sono posti nella stessa scatola, e l'intensità della corrente, che circola nel circuito di frequenza radiotelegrafica, si legge sopra una scala graduata.

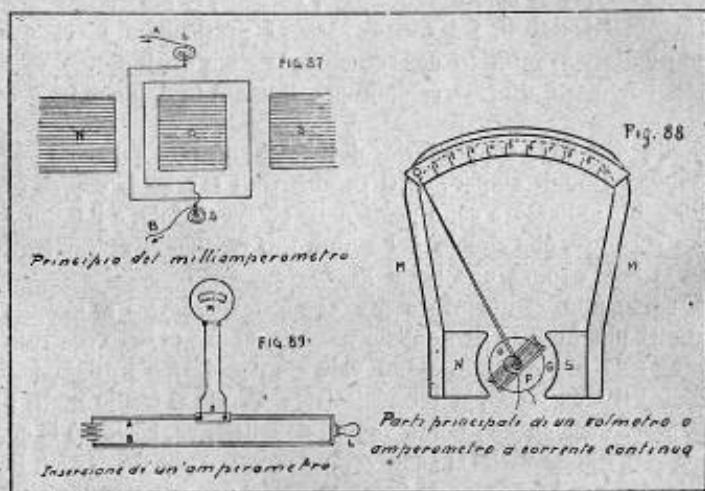
Quando uno strumento a filo caldo deve servire a misurare correnti più intense di qualche ampere, non è pratico costruirlo con un solo filo scaldatore. Ciò vale sia per il tipo a dilatazione, che per il tipo a coppia termoelettrica. Perciò si usano molti fili o striscie, disposti su di una superficie cilindrica, cosicchè le correnti radiotelegrafiche si suddividono ugualmente fra di essi. Per far funzionare lo strumento indicatore, o si usa l'effetto di un solo filo, o si possono disporre in serie parecchi fili, per modo che le f. e. m. si sommino.

60. **Strumenti magnetici.** — Mentre l'effetto termico delle correnti si utilizza per misure di correnti a frequenza elevata, si ricorre all'effetto magnetico per la misura delle correnti continue o alternate a bassa frequenza. Gli strumenti più semplici e più comuni per la misura della corrente continua si basano sulla reazione, che si produce fra un magnete permanente ed il filo che è percorso dalla corrente.

Milliamperometro a corrente continua. — La Fig. 87 rappresenta un avvolgimento di una o più spire rettangolari *C* di filo sottile isolato, fra i poli *NS* di un magnete permanente [1]. Le spire sono avvolte su di un leggero telaio metallico, imperniato su cuscinetti supporto di pietra dura, analoghi a quelli degli orologi. *SS* sono molle a spirale somiglianti alle molle sottilissime di questi, ma più pesanti e fatte di materiale, che sia un conduttore elettrico migliore dell'acciaio. Esse servono al doppio scopo di condurre la corrente e di regolare la posizione del telaio. *O* è un pezzo cilindrico di ferro dolce, che costituisce una

FIG. 87 — Principio del milliamperometro

Fig. 88 — Parti principali di un volmetro e amperometro a corrente continua

FIG. 89 — Inserzione di un'amperometro

via di buona permeabilità magnetica fra *N* ed *S*, e dà luogo ad un campo magnetico intenso ed uniforme fra *N* ed *O*, e fra *O* ed *S*.

Supponiamo che *A* e *B* siano collegati ad una sorgente di f. e. m. cosicchè la corrente circoli come indicano le frecce. Nei fili prossimi al polo nord del magnete la corrente in ciascuna

[1] Gli strumenti con una spirale mobile nel campo di un magnete permanente chiamansi a «spirale mobile».

spira va verso il basso: la direzione del campo magnetico è da N a S: perciò, come si vede applicando la « regola della mano sinistra » (par. 43), i fili tendono a spostarsi verso il davanti del foglio. Nei fili prossimi al polo S la corrente va verso l'alto; essi tendono quindi a spostarsi verso il di dietro del foglio. In complesso quindi il telaio tende a ruotare sui suoi supporti. Questo movimento è contrastato dalle molle, e per ogni valore della corrente vi è una posizione del telaio, nella quale la coppia dovuta alla corrente e quella dovuta alle molle si equilibrano. Si può quindi fissare al telaio un indice, che, scorrendo sopra una scala graduata, misurerà in ampere la corrente, che circola nelle spire. Nei buoni strumenti, che hanno magneti intensi e l'equipaggio mobile accuratamente sospeso a lieve attrito, le correnti dell'ordine di piccolissime frazioni di ampere sono sufficienti a far spostare l'indice di tutta la scala graduata; questa può essere quindi tarata in millesimi di ampere e lo strumento può servire da « milliamperometro ». Con alcune modifiche di cui ora si dirà, lo strumento può anche essere usato per misurare i millivolt, ed allora dicesi « millivolmetro ».

La disposizione delle varie parti di uno strumento di questo tipo è indicato in Fig. 88. Alle estremità del magnete M M sono attaccate le espansioni polari di ferro dolce N S, e fra esse sta il nucleo cilindrico di ferro dolce O, montato su supporti non rappresentati in figura. Questa disposizione produce un campo magnetico intenso ed uniforme nel ristretto spazio G. L'avvolgimento è libero di ruotare in questo spazio, che ha dimensioni appena sufficienti per permettergli la necessaria libertà di movimento. P è la molla a spirale anteriore; la molla posteriore resta dietro il nucleo O. L'indice è un sottile tubo di alluminio appiattito all'estremità. Il complesso è contenuto in una scatola ben chiusa munita di vetro. Dalla descrizione risulta che lo strumento è suscettibile di guastarsi, qualora lo si impieghi senza cura, disponendolo ad esempio capovolto o facendolo attraversare da correnti di intensità eccessiva.

Galvanometro a spirale mobile. — Negli strumenti destinati a misure delicatissime, per le quali anche un milliamperometro

non sarebbe abbastanza sensibile, si sopprimono i perni e le molle, e la spirale mobile si sospende ad un filo o ad una striscia lunga e sottile, dalla quale la corrente entra, uscendo poi da un secondo filo sottile, fissato alla base dello strumento. Uno strumento di questo tipo dicesi « galvanometro a spirale mobile » e può servire per la misura di correnti dell'ordine di un milionesimo di ampere. Lo strumento non ha indice: un piccolissimo specchio, portato dalla spirale mobile fa variare la direzione del raggio luminoso riflesso da esso, man mano che la spirale ruota.

Amperometri. — Uno strumento del tipo della Fig. 88 può essere impiegato solo per correnti di piccola intensità; con correnti intense le spirali e le altre parti dello strumento assumerebbero dimensioni così forti da rendere lo strumento poco maneggevole. Per correnti più intense si usa il sistema della Fig. 89. La corrente in *A* è quella da misurare: *S* è una piccola resistenza detta « shunt », costituita da una o parecchie strisce di una lega speciale, e di sezione sufficiente in relazione all'intensità della corrente.

La corrente si divide: la maggior parte di essa passa attraverso *S*, che ha una resistenza piccola: la parte minore circola nella spirale del millivolmetro *M*, la cui resistenza è notevole in confronto a quella di *S*. La corrente in *M*, benchè piccola, è una frazione perfettamente definita di quella totale (par. 25); perciò, se noi ne conosciamo il valore, possiamo subito dedurre l'intensità della corrente totale.

Se, ad esempio, la resistenza di *S* è 0,01 ohm e quella di *M* è 0,99, la corrente si divide in queste proporzioni, e la maggior parte passa nella via di minor resistenza. A prescindere da ogni unità di misura per la corrente, $\frac{99}{100}$ di essa passano per *S*, e solamente $\frac{1}{100}$ attraverso il millivolmetro. La corrente totale è 100 volte più intensa della corrente in *M*. Se le resistenze rispettive sono 0,001 ed 0,999, allora la corrente totale è 1000 volte più intensa della corrente in *M*. La debole corrente, che circola nello strumento, dà una misura precisa della corrente totale; per ogni shunt la scala è perciò fatta in modo da poter leggere direttamente in ampere la corrente totale.

Sullo shunt è anche stampato il numero di ampere, che producono la massima deviazione dell'indice sulla scala: esso deve essere inferiore alla graduazione più elevata della scala dello strumento.

Gli strumenti di portata media, fino a 75 ampere, possono avere lo shunt sistemato nell'interno dello strumento. I serrafili sono in questo caso di rame massiccio, e di sezione sufficiente per attaccarvi i fili conduttori, che sono percorsi da tutta la corrente di linea.

Un amperometro va inserito in circuito come indica la Fig. 89 e non come in Fig. 90 inserzione questa, che causerebbe la sua distruzione istantanea: si deve cioè aprire il circuito in un punto, e inserire in serie col circuito lo shunt, o lo strumento intero, se esso contiene lo shunt internamente. Se lo strumento è diviso dallo shunt, esso va derivato sui terminali dello shunt stesso.

Volmetri. — Il principio degli amperometri è anche applicato ai volmetri, ma questi strumenti si inseriscono nei circuiti in modo diverso, ciò che porta ad alcune differenze di costruzione fra volmetri e amperometri.

Nella Fig. 90, *A* e *B* rappresentano due fili collegati ai terminali di una batteria: si desidera misurare la differenza di potenziale, in volt, fra essi. *M* è uno strumento come quello della fig. 88, ed *R* è una resistenza costituita di filo di lunghezza e diametro opportuni, perchè la corrente non superi nello strumento un valore conveniente. In uno strumento ben proporzionato la resistenza *R* è di circa 15000 ohm per una scala di 150 volt.

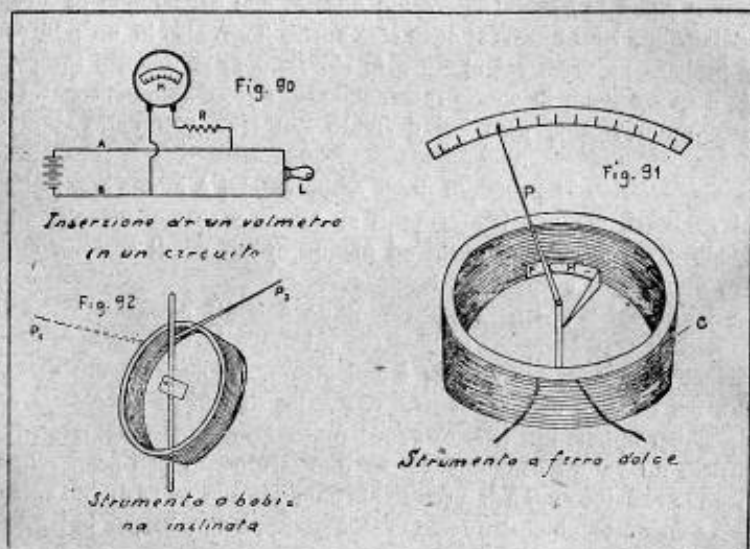
La corrente, che attraversa lo strumento, è eguale, per la legge di Ohm, alla tensione fra *A* e *B* divisa per la resistenza di $R+M$. Ogni variazione di tensione produce una variazione proporzionale della corrente nello strumento. È possibile perciò graduare la scala direttamente in volt. In pratica negli strumenti per tensioni ordinarie, il filo della resistenza *R* è generalmente avvolto sopra sottili fogli di mica, che occupano poco spazio e sono contenuti nell'interno della scatola dello strumento. Per usare il volmetro, si devono semplicemente collegare i suoi ser-

rafili ai punti dei conduttori, fra i quali si vuol misurare la tensione. L'indice segna sulla scala la tensione esistente fra essi. Le principali precauzioni da osservarsi nell'usare un volmetro sono: (1) non connetterlo mai, nemmeno per un istante, fra punti di tensione maggiore di quella indicata dalla scala, e (2) non scuoterlo nè maneggiarlo bruscamente.

La resistenza di un volmetro può essere sufficientemente bassa, senza introdurre cause di forti inesattezze, per modo da realizzare uno strumento atto a misurare piccole frazioni di volt, per una deviazione in fondo scala dell'ordine ad esempio di 0,02

Inserzione di un volmetro in un circuito

Strumento a ferro dolce

Strumento a bobina inclinata

volt. Uno strumento di questo genere graduato in millivolt dicesi «millivolmetro». Anche quando il millivolmetro si usi, come in fig. 89, per misurare delle correnti, deve avere in serie colla spirale una resistenza opportuna.

Gli amperometri possono facilmente distinguersi dai volmetri, non solo facendo attenzione alle graduazioni della scala, ma anche al tipo dei serrafili, che in un amperometro sono grandi e

atti a fissare del filo di sezione notevole, mentre in un volmetro sono più piccoli e atti a ricevere solamente dei fili sottili, inquantochè un volmetro assorbe solo correnti piccolissime, in generale dell'ordine di 0,01 ampere.

Altri tipi di strumenti. — Per misure di correnti alternate a bassa frequenza non si possono usare strumenti a magnete permanente, e d'altra parte gli strumenti termici hanno in pratica un impiego più limitato di altri, nei quali è utilizzato l'effetto magnetico della corrente su di un pezzo di ferro dolce.

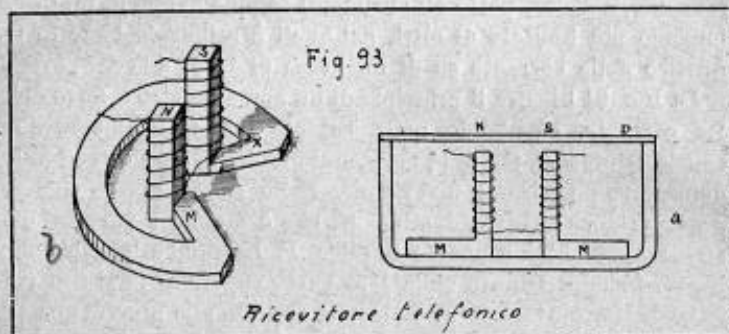
La Fig. 91 illustra il principio di un amperometro a ferro dolce. La corrente, circolando nella bobina fissa *C*, magnetizza una sottile lamina di ferro *F*, mantenuta da un supporto fisso in una determinata posizione invariabile. Nello stesso tempo essa magnetizza anche l'altra lamina *M*, che è mobile e portata dallo stesso asse, cui è connesso l'indice *P*. Entrambe le due lamine hanno in ogni istante nella loro parte superiore la stessa polarità e nella parte inferiore polarità opposta alla precedente. Perciò le due lamine si respingono l'un l'altra; la lamina *M* si sposta verso destra, e l'indice ruota con essa. Il moto è contrastato da molle a spirale come in Fig. 87.

Uno strumento di questo tipo, da usarsi come amperometro, ha la bobina fissa costituita da poche spire di filo grosso; se come volmetro, ha invece una bobina di molte spire di filo sottile con in serie una resistenza *R*, posta nell'interno della cassetta dello strumento, come in Fig. 90.

Questi strumenti si prestano alla misura di correnti alternate, perchè quando la corrente si inverte si inverte anche la magnetizzazione delle due lamine di ferro, che in tal guisa continuano a respingersi l'un l'altra.

Un altro metodo per utilizzare effetti magnetici è indicato in Fig. 92. La bobina fissa è inclinata rispetto al piano normale all'asse, che porta l'ago indicatore: su questo è montata una piccola aletta di ferro. Quando nella bobina non circola corrente l'ago è mantenuto nella posizione P_1 dalla molla antagonista; non appena la bobina è percorsa da corrente, l'aletta di ferro è magnetizzata dal campo e tende a disporsi lungo l'asse della bo-

bina, facendo così ruotare l'ago indicatore nella posizione P_2, in contrasto all'azione della molla. Gli amperometri e i volmetri di questo tipo differiscono fra loro degli stessi particolari, di cui si è fatto cenno per gli strumenti del tipo precedentemente descritto.

Ricevitore telefonico

Ricevitore telefonico. — L'effetto magnetico della corrente viene utilizzato in maniera diversa nei ricevitori telefonici. La fig. 93 mostra schematicamente le parti principali di una cuffia radiotelegrafica. *MX* (fig. *b*) è un magnete permanente, che riproduce la forma della lettera *C*, alle cui estremità sono fissati due nuclei di ferro dolce, aventi rispettivamente le polarità *N* ed *S*. Il magnete è sistemato in fondo ad una coppa circolare metallica, non disegnata in fig. *(b)*, rispetto alla quale i due nuclei di ferro dolce hanno la posizione indicata dalla figura *(a)*. Attorno a ciascun nucleo è avvolto del filo isolato. Nelle cuffie assai sensibili il filo è sottilissimo, ed il numero delle spire avvolte sui due nuclei è assai notevole, intorno a 10 000. Di fronte alle due espansioni polari, e, vicinissimo ad esse, si ha un disco circolare *D* di sottile lamierino di ferro, che dicesi « diaframma ». Il diaframma di un telefono è visibile attraverso il foro, che si apre al centro della struttura esterna di ebonite.

Quando la corrente circola nelle spire in una determinata di-

rezione, i due nuclei di ferro dolce attraggono il diaframma di concerto col magnete permanente. Se la corrente diminuisce di intensità o cambia di direzione, l'effetto attrattivo risultante diminuisce. Le correnti telefoniche sono correnti continue pulsanti o più raramente correnti alternative.

CAPITOLO 2

Macchine dinamo elettriche.

61. Generatori e motori. — Nel capitolo precedente sono state esposte alcune leggi relative ai circuiti elettrici e magnetici, e stabilite alcune relazioni fra correnti elettriche e campi magnetici. In questo capitolo si descriveranno alcune pratiche applicazioni di quelle leggi, con particolare riferimento ai tre fenomeni sperimentali seguenti:

1. Quando un conduttore si muove in un campo magnetico, si induce in esso una f. e. m.

2. Quando una corrente circola in un conduttore posto in un campo magnetico, il conduttore è sollecitato a muoversi attraverso il campo.

3. Quando una corrente circola intorno ad un nucleo di ferro, il nucleo si magnetizza.

Le forze, che entrano in giuoco, non sono necessariamente piccole, come spesso si pensa, ma possono raggiungere centinaia e anche migliaia di chilogrammi. Tali forze possono svilupparsi su larga scala in macchine apposite, che diconsi « dinamo-elettriche » o brevemente macchine « elettriche ».

Queste macchine si impiegano a convertire potenza meccanica in potenza elettrica o viceversa. Se sono mosse da un motore (motore a vapore, motore a scoppio o turbina idraulica) e convertono la potenza meccanica in potenza elettrica, si dicono « generatori ». Se sono alimentate da corrente elettrica ed azionano macchinari, veicoli o altri dispositivi, convertendo in tal guisa potenza elettrica in potenza meccanica, diconsi « motori ».

Benchè si abbiano tipi diversi di motori e di generatori, la differenza fra essi riguarda più le modalità del loro impiego che le loro caratteristiche di costruzione; tali differenze infatti sono

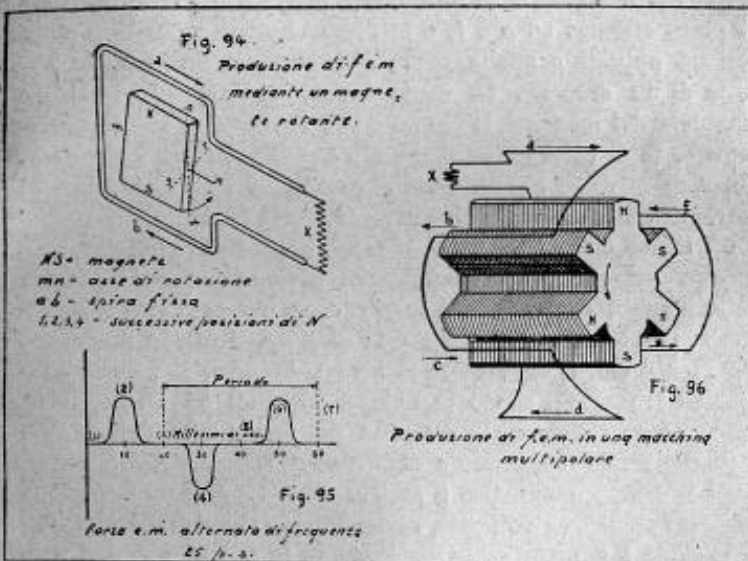
così lievi che la stessa macchina può servire per entrambi gli scopi senza dover subire modifica alcuna o al massimo con qualche variante di piccola entità. Le macchine elettriche possono funzionare sia a corrente continua che a corrente alternata.

A. L'alternatore.

62. Produzione di f. e. m. per mezzo di un campo rotante. — Nel capitolo 1, paragrafo 45, abbiamo detto che un conduttore,

Fig. 94 Produzione di f.e.m mediante un magnete rotante.

Fig. 95 Forza e.m. alternata di frequenza 25 p.s.

Produzione di f.e.m. in una macchina multipolare

il quale si sposti in un campo magnetico, diviene sede di forza elettromotrice. Ciò è vero, tanto se è il conduttore che effettivamente si muove, quanto se invece chi muove è il campo magnetico; la cosa essenziale è che vi sia moto relativo dell'uno rispetto all'altro.

Un sistema per realizzare questo moto relativo è illustrato dalla Fig. 94. Supponiamo che il magnete $N\ S$ sia fatto ruo-

tare intorno all'asse *mn* con moto uniforme. La spira di filo *ab* sia fissa e le sue estremità siano collegate al circuito esterno *X*. Ogni qualvolta il campo uscente dal polo *N* attraversa *a*, si induce in *a* una forza elettromotrice diretta verso destra: contemporaneamente, mentre il campo entrante nel polo *S* attraversa *b*, si induce in *b* una forza elettromotrice diretta verso sinistra. In tal modo la f. e m. prodotta dà origine nella spira *ab* ad una corrente, che circola, come indicano le frecce, nel senso in cui ruotano le sfere di un orologio.

Quando il magnete ha fatto mezzo giro, i poli hanno cambiato di posto rispetto ad *a* e *b*, e le forze elettromotrici hanno direzione opposta a quella, secondo la quale si muovono le lancette di un orologio. Di conseguenza, durante una rotazione completa del magnete, si hanno due pulsazioni di forza elettromotrice (e di corrente, se il circuito è chiuso) in senso contrario. Un dispositivo di questo genere costituisce un « generatore di corrente alternata » o « alternatore ».

63. **Senso della f. e. m.** — Il senso della forza elettromotrice indotta nel conduttore può essere determinato colla « regola della mano destra ». Questa regola, come generalmente si enuncia, si riferisce particolarmente al caso che il campo magnetico sia fisso e che il conduttore si muova in esso. Il pollice, l'indice ed il medio della mano destra, disposti ad angolo retto, danno rispettivamente le direzioni del movimento del conduttore, del flusso magnetico e della forza elettromotrice indotta.

Se il campo magnetico è mobile ed il conduttore è fisso, la regola si applica egualmente, rammentando che il fenomeno fondamentale è il moto relativo. Così, se in fig. 94 non è il polo Nord che si sposta davanti al conduttore *a*, venendo verso il lettore, ma è il conduttore, che muove davanti al polo nord, nel senso di allontanarsi dal lettore, gli effetti, che ne risultano, sono assolutamente identici.

64. **Curva di f. e. m.** — Se diamo alla forza elettromotrice il segno positivo, quando nel filo *a* dà origine ad una corrente verso destra, e negativo quando verso sinistra, possiamo rappresentare con una curva del tipo indicato in fig. 95 il suo

modo di variare. Prendiamo lungo l'asse orizzontale gli istanti successivi di tempo, e sull'asse verticale le corrispondenti forze elettromotrici. Quando il polo nord è nella posizione 1 (Fig. 94), la f. e. m. è nulla (punto 1, fig. 95); poco dopo, quando il polo nord è nella posizione *A* (Fig. 94), la f. e. m. è massima (punto 2, sulla curva); quando il polo nord è giunto nella posizione 3, la forza elettromotrice è diminuita fino a zero, e nella posizione 4 raggiunge il suo valore massimo negativo. Essa poi decresce nuovamente fino a zero, e l'intera serie di valori si ripete.

Una curva del tipo di quella disegnata in fig. 95 dicesi spesso curva od onda di forza elettromotrice.

Le curve di forza elettromotrice, generate dagli alternatori industriali, hanno forme varie, ma non differiscono ordinariamente molto dalle curve sinoidali; e per le ragioni accennate nel capitolo 1, si considerano abitualmente come tali.

65. **Ciclo, periodo, frequenza.** — La serie regolare e periodica di valori, che la forza elettromotrice assume successivamente da ciascun punto di una serie al punto corrispondente della serie successiva, dicesi «ciclo». Il tratto di curva, che in fig. 95 è compreso fra il punto 3 e il punto 7, rappresenta un ciclo; così pure il tratto da 2 a 6. Il tempo necessario perchè la f. e. m. compia un ciclo, è il «periodo». Il numero dei cicli a secondo si dice «frequenza».

In Europa la frequenza più comunemente adottata nei circuiti a corrente alternata degli impianti industriali è di 50 periodi; in America si usano frequenze fra 60 e 25 periodi al secondo. In alcune particolari applicazioni, come in radiotelegrafia, si impiegano generatori a 500 periodi. Recentemente sono state costruite macchine speciali per la produzione di correnti a frequenze dell'ordine di 100.000 periodi al secondo, per alimentare direttamente i circuiti radiotelegrafici. Questa frequenza corrisponde ad una lunghezza d'onda radiotelegrafica di 3.000 metri (par. 125).

66. **Magneti multipolari.** — Volendo produrre una frequenza di 60 periodi al secondo con un solo magnete bipolare, occorre

far ruotare il magnete ad una velocità di 60 giri al secondo. Velocità di quest'ordine non sono pratiche in macchine di notevoli dimensioni; così per realizzare una frequenza di 500 periodi, occorrerebbero 500 giri al secondo o 30.000 giri al minuto primo. Se invece disponiamo alternativamente un certo numero di poli nord e sud, come in fig. 96, e alimentiamo i rispettivi circuiti di eccitazione, possiamo realizzare le stesse frequenze con una velocità di rotazione più modesta.

In fig. 96 si suppone che il magnete ruoti, mentre i conduttori *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, rimangono fissi. Quando il polo nord superiore muove verso il lettore, nei vari conduttori si inducono forze elettromotrici nella direzione delle frecce.

I conduttori sono tutti riuniti in serie, e collegati al circuito esterno X nei punti *f* ed *a*. Essi sono tutti nella stessa posizione relativa, rispetto ai vari poli magnetici; le loro forze elettromotrici sono eguali e, di conseguenza, la f. e. m. totale è eguale a 6 volte la forza elettromotrice di ciascun conduttore.

Ad ogni giro del magnete, ciascun conduttore passa tre volte davanti a un polo nord, e tre volte davanti ad un polo sud. Ogni coppia di poli dà origine ad un periodo, per cui, ad ogni giro, si hanno nei conduttori tre cicli di f. e. m. In tal guisa per una determinata velocità si realizza una frequenza tripla di quella, che si avrebbe, se il magnete avesse una sola coppia di poli.

67. Campo ed armatura. — I magneti *NS* (Fig. 96), che producono il campo magnetico di un alternatore, diconsi « magneti di campo ». Se la macchina ha soltanto un polo nord ed uno sud, dicesi « bipolare »; se ha invece parecchie coppie di poli, si dice « multipolare ».

I conduttori, nei quali si inducono le forze elettromotrici, costituiscono « l'avvolgimento dell'armatura »: esso è generalmente sistemato entro scanalature ben isolate, ricavate in un nucleo di ferro o di acciaio, che dicesi « nucleo dell'armatura ».

L'insieme dell'avvolgimento e del nucleo costituisce « l'armatura », per quanto questo termine si usi anche impropriamente, per indicare il solo avvolgimento dell'armatura.

68. **Avvolgimento dell'armatura.** — La f. e. m, che si sviluppa in un solo conduttore dell'armatura di un alternatore, non supera uno o due volt; perciò l'avvolgimento dell'armatura si compone sempre di un gran numero di conduttori disposti ordinariamente in matasse o bobine (Fig. 97), ciascuna di parec-

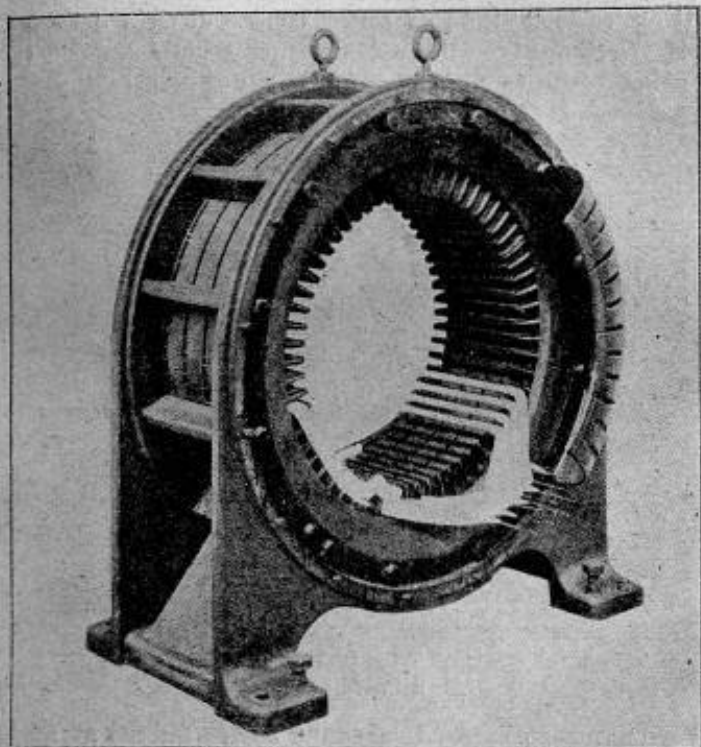



Fig. 97. — Sistemazione di parte dell'avvolgimento dello statore di un motore sincrono da 25 p. s.

chie spire, incastrate entro scanalature ricavate sul nucleo e poi collegate fra loro. I capi di ciascuna bobina si saldano insieme, e si ricoprono accuratamente con nastro o altro materiale isolante,

Le bobine sono di filo di rame, rivestito di materie isolanti.

(comunemente cotone), ed avvolto sopra forme, che abbiano il profilo desiderato; sono di poi fasciate di nastro isolante e verniciate. Le scanalature del nucleo sono rivestite spesso di carta o fibra. Le bobine si forzano nelle scanalature, e vi sono mantenute a posto per mezzo di cunei di fibra o di legno, che si incastrano fra i denti, che limitano ciascuna scanalatura.

Il nucleo è costituito da sottili lamiere di ferro dolce o acciaio, foggiate ad anello, e dentate nella parte interna. (Fig. 98). Per costruire un cilindro di una determinata lunghezza

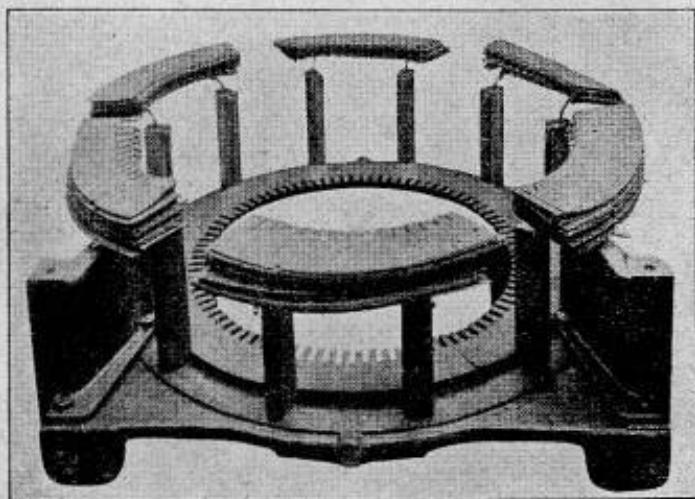



Fig. 98. — Montamento delle lamiere del nucleo d'armatura di un alternatore.

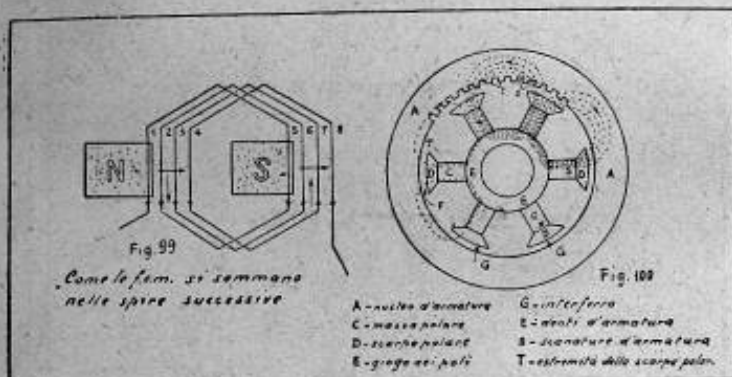
si sovrappongono parecchi lamierini. Spesso intorno al nucleo si dispone una defensa metallica bucherellata, che ha lo scopo di convogliare attraverso il nucleo l'aria di ventilazione. I tre anelli scuri, che in figura 97 seguono il profilo del nucleo, sono appunto parti di questa defensa. Gli spazi compresi fra i denti costituiscono le scanalature per gli avvolgimenti.

Possiamo seguire l'andamento della f. e. m. in un avvolgi-

mento di questo tipo coll'aiuto della fig. 99, nella quale una parte dell'avvolgimento è sviluppato in un piano. Siano *N* ed *S* le posizioni dei poli magnetici in un dato istante: ciascuna delle linee numerate della figura rappresenti o un solo conduttore, o tutti i conduttori di un lato di una bobina.

Immaginiamo che i poli si spostino verso destra e che i conduttori 1, 2, 3, ecc. restino fissi. Partiamo dall'istante in cui un polo nord si sta avvicinando al conduttore 1, ed un polo sud al conduttore 5; la f. e. m. indotta nei conduttori 1 e 5 avrà il senso indicato dalle frecce. Man mano che i poli si avvicinano ai conduttori 2 e 6, 3 e 7, alla f. e. m. precedente si aggiunge

Fig. 99 Come le f.e.m. si sommano nelle spire successive

Fig. 100

anche quella indotta in questi fili e che ha lo stesso senso. La f. e. m. totale raggiungerà il suo valore massimo, quando il polo nord copre i conduttori 1, 2, 3, e 4, ed il polo sud copre i conduttori 5, 6, 7 ed 8. Dopo questo istante la forza elettromotrice risultante comincia a diminuire, si annulla, e riprende a crescere in senso opposto. Nasce così nell'avvolgimento una f. e. m. alternata, la quale assume gradualmente tutti i suoi valori positivi e negativi, man mano che i conduttori entrano od escono dal campo magnetico. I poli terminano generalmente in espansioni troncoconiche, che hanno lo scopo di rendere ancora più graduali le variazioni della f. e. m.

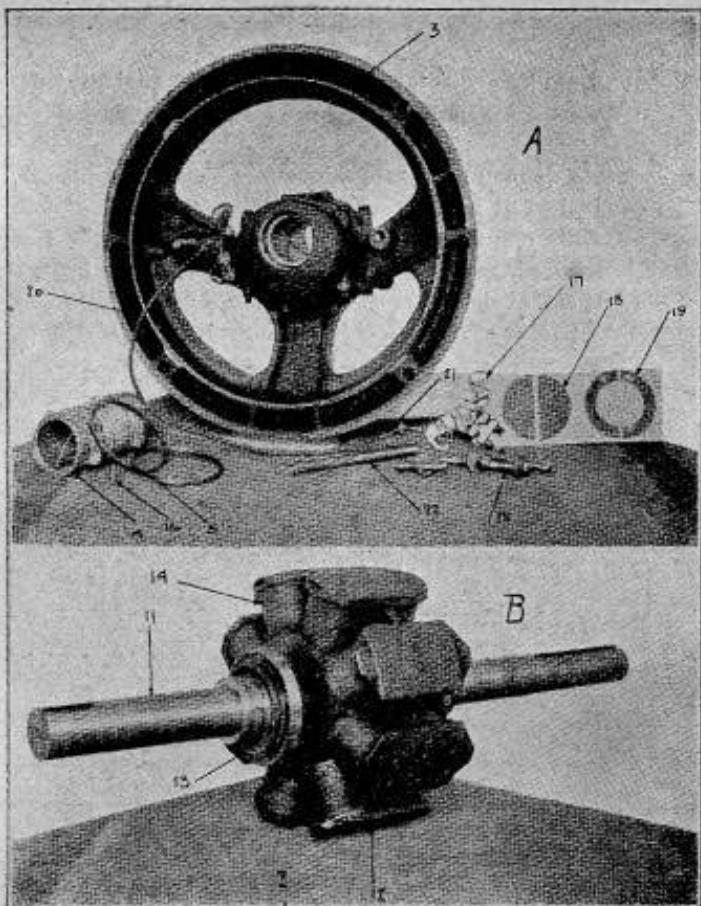
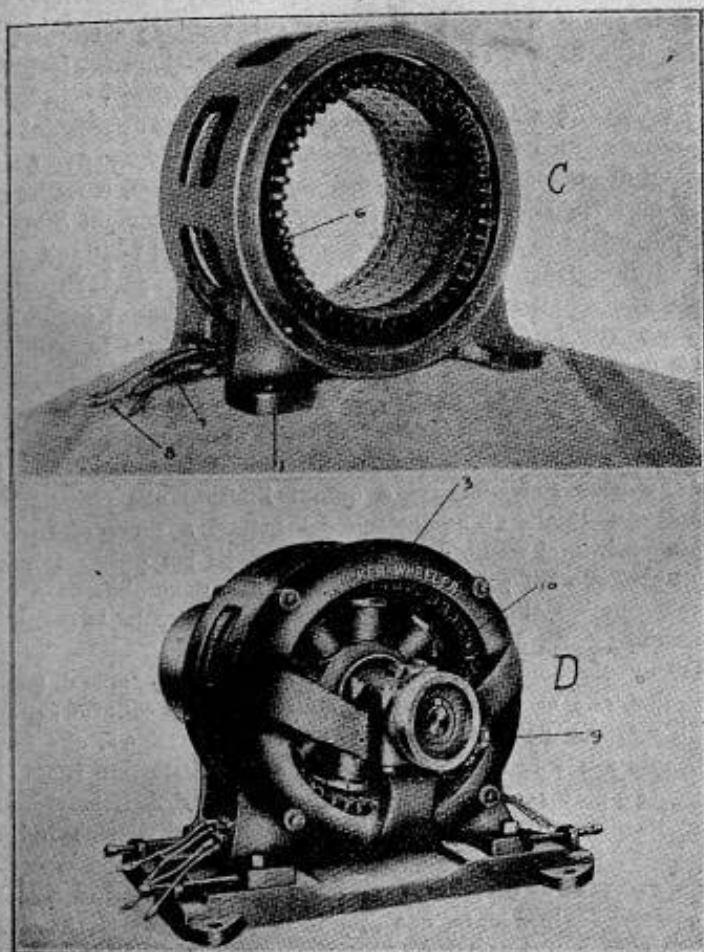



Fig. 101-A-B (C-D nella pagina a fronte). — **Alternatore da 150 kVA, 900 giri al minuto, 60 periodi.**

1. Incastellatura dello statore.
2. Rotore completo.
3. Scudi.
4. Cuscinetti dell'asse.
5. Anelli per l'olio di lubrificazione.
6. Avvolgimento dello statore.
7. Cavi di linea dello statore.
8. Terminali per detti.
9. Lubrificatore.
10. Coperchio del foro di immissione dell'olio.
11. Asse.
12. Scarpa polare.
13. Collettore.
14. Avvolgimento di eccitazione.
15. Viti di fissaggio degli scudi all'incastellatura.
16. Vite per cuscinetto dell'asse.
17. Portaspazzole a due spazzole.
18. Tappo per la polvere.
19. Filtro per la polvere.
20. Conduttori del rotore.
21. Terminali per detti.
22. Asse porta spazzole.

69. **Avvolgimenti concentrati e distribuiti.** — Quando tutte le spire di una bobina dell'avvolgimento, influenzata da una coppia di poli, sono raccolte in una sola scanalatura per ciascun polo, l'avvolgimento dicesi «concentrato». Quando invece il tratto di nucleo, che sottende ciascuna faccia polare, com-

prende più di una scanalatura, in cui vengono a trovarsi le spire della bobina, l'avvolgimento dicesi « distribuito ». (Fig. 97, 99, 100).

70. **Circuito magnetico.** — È importante dare un'idea del circuito magnetico di una macchina elettrica. Si possono avere vari schemi di circuiti magnetici; ma, compresone uno, è facile capire gli altri. Uno dei circuiti magnetici più comuni è quello rappresentato in fig. 100, nella quale sono omessi i dettagli meccanici di costruzione. Le linee punteggiate della parte superiore della figura indicano la via, che il flusso magnetico segue per ciascuna coppia di poli. I conduttori dell'armatura sono alloggiati nelle scanalature *ss*.

71. **Eccitazione del campo.** — Finora non si è ancora detto come venga prodotto il campo magnetico di una macchina. Si potrebbero usare magneti permanenti, ma il loro impiego è in pratica poco soddisfacente, e quindi limitato alle piccolissime dinamo, destinate all'accensione dei motori a scoppio. Invece comunemente si usano degli elettromagneti; per creare i quali si dispongono sui poli dei rocchetti di filo, generalmente a notevole numero di spire, attraverso ai quali circola la corrente continua fornita da una sorgente esterna.

Gli avvolgimenti induttori fanno capo ad una coppia di anelli metallici, che si dicono « anelli collettori » o « collettori », sui quali scorrono delle strisce metalliche o « spazzole », che sono collegate alla sorgente di energia. Quando l'induttore ruota, la corrente è portata agli avvolgimenti dai contatti striscianti delle spazzole fisse e dagli anelli collettori rotanti col sistema induttore.

La sorgente di corrente continua è generalmente un piccolo generatore indipendente, che prende il nome di « eccitatrice ». La potenza dell'eccitatrice di un alternatore è dell'ordine dall'1 al 3 per cento della potenza dell'alternatore. Se l'alternatore è molto piccolo, come accade nei gruppi radiotelegrafici portatili, l'eccitatrice è relativamente più grande.

72. **Statore e rotore.** — Quando ci si vuol riferire alla parte fissa e rotante di una macchina dinamo-elettrica, a prescindere

dalle loro funzioni, la prima si chiama «statore» e l'altra «rotore».

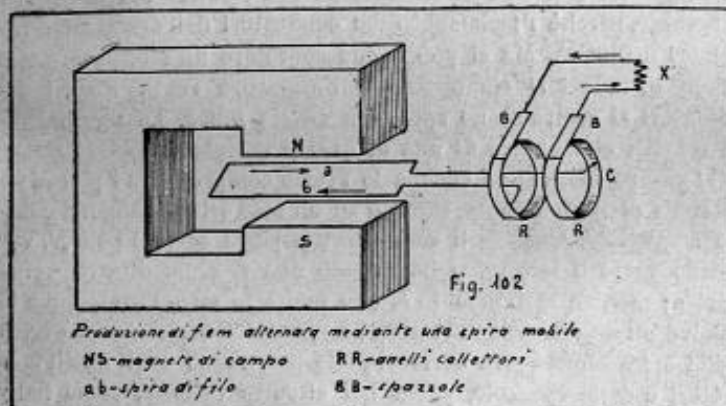
73. **Particolari costruttivi.** — Dalla figura 101 si può avere una idea chiara delle parti di un alternatore a induttore rotante; essa rappresenta tanto la macchina completa, quanto le parti più importanti di essa, separatamente.

La superficie esterna del nucleo è visibile attraverso le aperture di ventilazione della carcassa di ferro dello statore. I due anelli scuri, che sembrano dividere il nucleo in tre parti, sono condotti di ventilazione. I conduttori dell'avvolgimento non sono visibili nelle scanalature, perchè nascosti dai cunei, ma i

Fig. 102

Produzione di f.e.m. alternata mediante una spira mobile

NS-magnete di campo   RR-anelli collettori

ab-spira di filo   BB-spazzole

tratti di connessione si vedono chiaramente. Si noti che i conduttori di collegamento sono, per semplicità di costruzione, ripiegati ad angolo. I quattro serrafili, alla sinistra dello statore, ci dicono trattarsi di una macchina bifase (Par. 75).

Lo scudo laterale di dritta mostra un portaspazzole a posto, alla sinistra del cuscinetto; il piccolo foro alla destra del cuscinetto è destinato a ricevere l'asse, sul quale va montato l'altro portaspazzole.

Le spazzole di una polarità strisciano sopra un anello collettore e quelle dell'altra sull'altro anello. In questa macchina si

hanno due spazzole per ciascuna polarità, in modo da realizzare un ampio contatto. Le estremità dei conduttori, che vanno alle spazzole, sono visibili alla destra del generatore completo.

Nel rotore si notano le scarpe polari, trattenute da sei viti. Uno dei conduttori, che collegano le bobine di eccitazione, è visibile tra la scarpa polare superiore e quella dirimpetto ad essa, presso il centro della scarpa. È anche visibile l'anello massiccio, su cui sono fissati i nuclei polari. I due anelli collettori, assai vicini l'uno all'altro, non sono bene distinguibili in figura.

74. **Altre forme di alternatori.** — Sin qui abbiamo considerato alternatori, nei quali ruota l'induttore, mentre l'armatura è fissa. Questo è il tipo di costruzione più comune per le grandi macchine, perchè l'isolamento dei conduttori dell'armatura offre minori difficoltà. Ma si può anche concepire un alternatore, nel quale gl'induttori siano fissi e l'armatura ruoti. Piccoli alternatori si costruiscono spesso in questa guisa. La fig. 102 dà lo schema elementare di una di queste macchine.

Il campo magnetico occupa lo spazio compreso fra i poli *N S*; la spira di filo *ab* ruota, intorno ad un asse orizzontale, nel campo magnetico. Quando il conduttore *a* passa sotto il polo *N*, venendo verso il lettore, si ha in esso una f. e. m. diretta verso destra; mentre la f. e. m. in *b*, che taglia lo stesso campo, ma si muove allontanandosi dal lettore, è diretta verso sinistra. Perciò nella spira circola una corrente, che per mezzo degli anelli collettori e delle spazzole, passa nel circuito esterno, come indicano le frecce.

Quando la spira ha fatto mezzo giro, il conduttore *a* viene a trovarsi davanti al polo *S* e la f. e. m., che si genera in esso, è diretta verso sinistra; mentre nel conduttore *b*, che passa davanti al polo *N*, è diretta verso destra. Nel circuito esterno *X* la corrente circolerà quindi in direzione opposta a quella indicata dalla freccia. La rotazione continua della spira produce nel circuito una corrente alternata.

Il semplice magnete bipolare della Fig. 102 può essere sostituito da un elettromagnete multipolare, costituito da una solida carcassa cilindrica che dicesi « giogo », dalla quale i poli si

proiettano radialmente verso l'interno. Nelle bobine dei poli magnetici si manda corrente continua. L'avvolgimento dell'armatura è fatto in maniera identica, sia negli alternatori ad armatura rotante che in quelli ad armatura fissa: la sola differenza è che i conduttori sono disposti sulla faccia esterna del nucleo anzichè su quella interna.

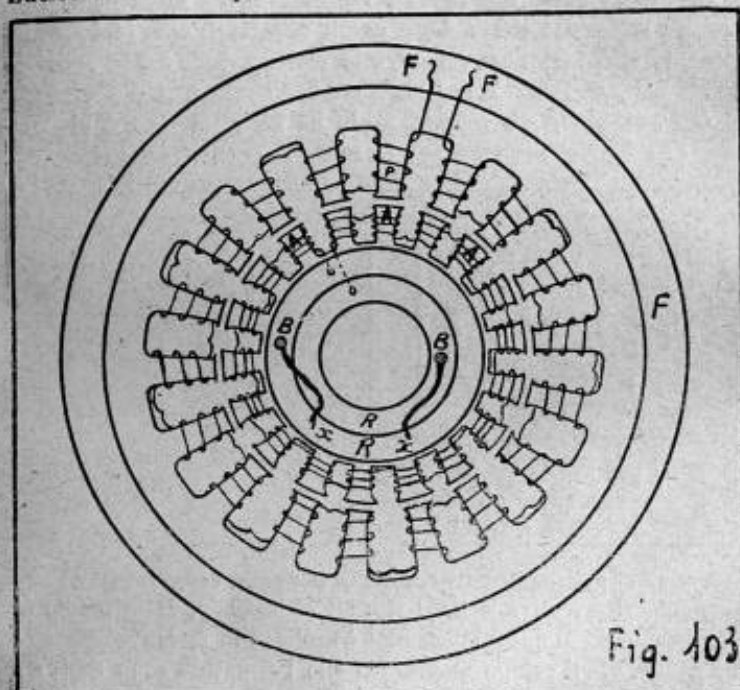



Fig. 103. — Alternatore ad armatura rotante. A, armatura; F, giogo; P, poli; R, anelli collettori; B, spazzole; FF, terminali del circuito d'eccitazione; XX, conduttori al circuito esterno.

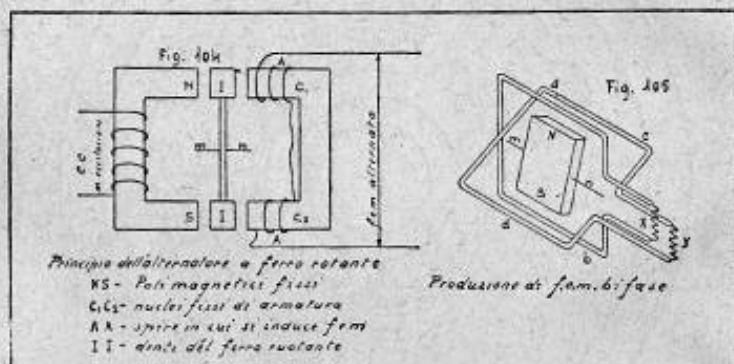
Una macchina, in cui il campo magnetico sia fisso, mentre i conduttori, nei quali si induce la forza elettromotrice, ruotano, si dice del tipo ad « armatura rotante ». La fig. 103 rappresenta lo schema di una macchina di questo tipo di un piccolo com-

plesso radiotelegrafico portatile. [1] L'avvolgimento d'armatura è in questo caso del tipo concentrato. La fig. 122 riproduce un generatore di questo stesso tipo molto simile al precedente.

In un alternatore in cui il sistema induttore ruoti, il circuito di eccitazione deve comprendere due anelli collettori. Analogamente, se la parte che ruota è l'armatura, nel circuito dell'armatura si devono avere degli anelli collettori, che stabiliscano la continuità metallica col circuito esterno. Tali anelli sono indicati nella fig. 122 con R R.

Alternatore a ferro rotante. — Si ha un altro tipo di alternatore di speciale interesse per la radiotelegrafia. Esso si chiama

Principio dell'alternatore a ferro rotante
NS - Poli magnetici fissi
$C_1 C_2$ - nuclei fissi di armatura
AA - spire in cui si induce fem
II - denti del ferro ruotante

Produzione di f.e.m. bifase

« alternatore a ferro rotante », e si usa per generare correnti ad alta frequenza fino a circa 100.000 periodi al secondo. Il principio di funzionamento di queste macchine è indicato in forma schematica in fig. 104. Sia il campo magnetico che l'armatura sono fissi; fra

[1] Il piccolo alternatore, cui si riferisce questo schema, ha 18 poli di campo e 18 denti d'armatura, una velocità di 3333 giri al minuto e genera correnti della frequenza di 500 periodi: sviluppa una potenza di 250 volt-ampere, ed è destinato ad un complesso radiotelegrafico da campo. Nello schema le bobine sono appena accennate: effettivamente quelle di eccitazione hanno in media 250 spire e quelle d'armatura 19 spire ciascuna. Lo schizzo è praticamente in iscala, fatta eccezione per gli anelli collettori, che sono disegnati in scala minore per non nascondere l'armatura. Il diametro interno della carcassa è di circa 15 cm.

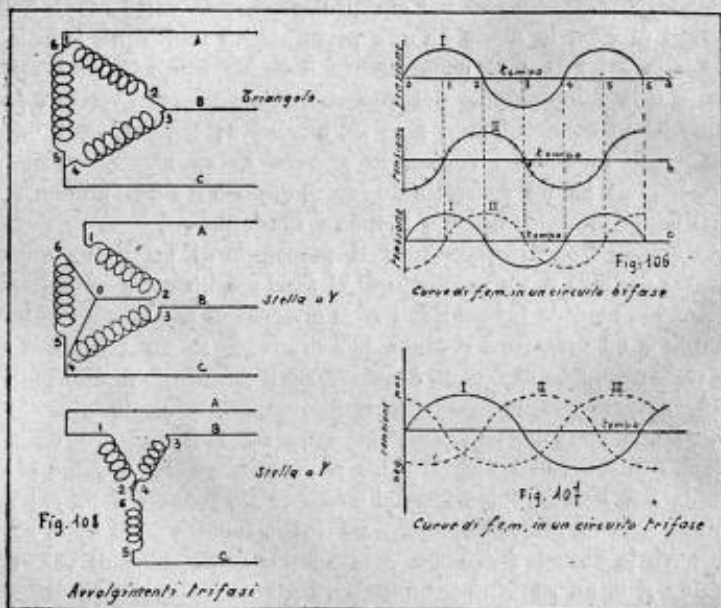
i poli magnetici e l'armatura è compreso uno spazio, piuttosto forte, nel quale sono liberi di ruotare intorno all'asse *mn* dei pezzi di ferro *I*, in un piano perpendicolare al piano del foglio. Possiamo chiamare questi pezzi di ferro « poli rotanti ». Immaginiamo che questi poli ruotino per effetto di una coppia esterna. Quando essi si trovano nella posizione indicata in figura, fra *N* e C_{11} ed *S* e C_2 si ha un flusso magnetico dovuto alla corrente continua di eccitazione. Ma quando essi si spostano dalla posizione indicata, si determinano nel circuito magnetico degli ampi intervalli di aria, la quale ha una permeabilità molto più piccola di quella del ferro; di conseguenza il flusso diminuisce. L'aumento e la diminuzione del flusso magnetico attraverso alle spire *AA* vi generano una f. e. m. alternata; perchè ogni variazione di flusso in un circuito genera in esso (par. 45) una f. e. m., che ha un determinato senso, quando il flusso aumenta, ed il senso opposto, quando il flusso diminuisce.

In questo tipo di alternatore il passaggio di un unico polo rotante davanti a un conduttore vi produce un ciclo completo di f. e. m., mentre invece negli altri alternatori del tipo a campo rotante o ad armatura rotante, per produrre in un conduttore un ciclo completo di f. e. m. è necessario il passaggio di due poli.

75. **Alternatori polifasi.** — Supponiamo di aggiungere in fig. 94 alla spira *ab* una seconda spira *cd*, indipendente dalla prima, e disposta ad angolo retto rispetto a quella: avremo allora la fig. 105. La rotazione del magnete *NS* indurrà nella spira *cd* una f. e. m. alternata, identica a quella indotta nella spira *ab*, che avrà la stessa frequenza e la stessa successione di valori. Le due f. e. m. raggiungeranno però gli stessi valori in differenti istanti; perchè nel momento, in cui i poli sono di fronte ai conduttori della spira *ab*, si avrà in questa la f. e. m. massima, mentre nella spira *cd* la f. e. m. sarà nulla.

Supponiamo che la curva I della fig. 106 rappresenti l'onda di f. e. m. della spira *ab*; la curva II rappresenterà allora la f. e. m. della spira *cd*. Se disegnamo le due curve in un unico diagramma, e le confrontiamo fra di loro, possiamo constatare che esse hanno la stessa forma: le due f. e. m. passano at-

traverso la stessa successione di valori; ma la II ritarda sempre di un quarto di periodo sulla I (Par. 59). Supponiamo che l'intervallo 0—4 rappresenti $\frac{1}{25}$ di secondo: la f. e. m. nella spira *cd* assumerà gli stessi valori, che la f. e. m. ha nella spira *ab*, $\frac{1}{100}$ di secondo più tardi. Ciò si esprime dicendo che fra le due f. e. m. vi è una « differenza di fase » di un quarto di periodo, o che la fase delle due f. e. m. differisce di un quarto di periodo.

Due f. e. m., che hanno una differenza di fase di un quarto

di periodo diconsi in quadratura. Un generátore, che dia due f. e. m. in quadratura, dicesi « alternatore bifase ». I due avvolgimenti separatamente considerati chiamansi brevemente « fasi ». È indifferente considerare una qualunque di esse come fase I e l'altra come fase II, o viceversa.

Sarà ora facile capire perchè nella Fig. 101 sulla sinistra della

macchina sono rappresentati quattro terminali. Due appartengono ad una fase e due all'altra.

Si possono avere anche più di due fasi; e infatti i moderni alternatori hanno generalmente avvolgimenti trifasi.

Definizioni. — Un alternatore, che produce una corrente alternata semplice, dicesi « monofase ». I generatori impiegati in radiotelegrafia sono generalmente monofasi.

Una macchina per corrente alternata a due o più fasi dicesi « polifase »; i generatori polifasi possono essere bifasi o trifasi.

Disposizione degli avvolgimenti. — Si può avere un'idea del modo, con cui sono sistemati gli avvolgimenti di un generatore polifase, riferendoci ancora alla fig. 99. Supponiamo di disporre negli intervalli, lasciati vacanti dal primo avvolgimento, un secondo avvolgimento perfettamente identico al primo [1]; man mano che i poli magnetici si spostano, gli avvolgimenti entreranno alternativamente in giuoco.

Si noti che, in un generatore monofase, metà della superficie del nucleo dell'armatura resta priva di conduttori: viceversa in un generatore polifase gli avvolgimenti coprono generalmente l'intera superficie del nucleo.

Supponiamo ancora di intervallare gli avvolgimenti bifasi in modo da lasciare dello spazio per un terzo avvolgimento, che sia perfettamente identico ai due precedenti. Avremo allora tre avvolgimenti o tre fasi, ed i poli del campo passeranno successivamente davanti a ciascuno di essi. Si produrranno così tre f. e. m., la cui fase differisce della stessa quantità.

Scegliendo opportunamente il senso, con cui eseguire i tre avvolgimenti, avremo tre f. e. m., che si seguono l'un l'altra, come indica la fig. 107, con una differenza di fase di un terzo di periodo, o, come spesso si dice, di 120°.

Dovremmo aspettarci che una macchina trifase avesse sei morsetti. In generale invece le fasi sono collegate in modo che,

---

[1] Il lettore, che trova difficoltà nell'immaginare il secondo avvolgimento, lo disegni su carta lucida e poi lo sovrapponga alla Fig. 99, facendo scorrere la carta da un lato di una quantità opportuna.

come indica la fig. 108, bastano tre soli morsetti. Le tre spirali rappresentano i tre avvolgimenti dell'armatura. Se le tre spirali sono collegate come indica lo schema superiore della fig. 108, l'avvolgimento dicesi a « triangolo »: quando invece dei sei capi delle tre spirali tre sono collegati ad un punto unico 0 (schema centrale), l'avvolgimento dicesi a « stella » o ad Y. Lo schema inferiore deriva direttamente da quello centrale, nel quale, per semplicità di figura, gli estremi 2, 4, 6 delle spirali convergono nello stesso punto, mentre gli altri estremi 1, 3, 5 sono collegati ai fili di linea *A*, *B*, *C*.

Lo schema delle connessioni fra le fasi è normalmente di scarso interesse per l'operatore, eccezion fatta pei casi di avarie, nei quali tuttavia solo un attento esame permette di riconoscerne il tipo. I conduttori di collegamento fra le fasi e i fili di linea sono accuratamente fasciati, ripiegati ad angolo, nel lasciare l'armatura, e protetti o dalla carcassa o da uno degli scudi: i morsetti di linea sono generalmente sistemati in una cassetta con coperchio, all'esterno della macchina.

B. Teoria dell'alternatore, perdite e rendimento.

76. **Formula della frequenza e della f. e. m.** — La frequenza della f. e. m., generata da un alternatore a induttori o ad armatura rotante, è data dalla relazione:

$$f = \frac{pn}{2} \text{ o } f = \frac{pn'}{120}$$

nella quale f = frequenza in periodi al secondo.
p = numero dei poli.
n = numero dei giri al secondo.
n' = numero dei giri al minuto.

Infatti, se i poli sono p, ad ogni giro della parte mobile della macchina si hanno $\frac{p}{2}$ periodi: il numero dei periodi al secondo della f. e. m. generata da una macchina, che fa n giri al secondo, sarà $\frac{p}{2}\,n$. Se come d'ordinario accade, la velocità di ro-

tazione è espressa in giri al minuto, si ha allora la seconda relazione.

Per esempio: che frequenza avrà la f. e. m. prodotta da un alternatore a 12 poli, quando gira a 5000 giri al minuto?

Con 12 poli ad ogni giro si hanno 6 periodi. In un minuto si avranno $6 \times 5000 = 30{,}000$ periodi. In un secondo $30{,}000 / 60 = 500$ periodi. La frequenza della f. e. m. prodotta dall'alternatore è di 500 periodi al secondo. Dalla seconda formula si ottiene lo stesso risultato:

$$f = \frac{12 \times 5000}{120} = 500 \text{ periodi al secondo}$$

Negli alternatori a ferro rotante la frequenza è data dal numero dei denti o poli rotanti, che in un secondo passano per un determinato punto. Così, se il rotore ha 40 denti e fa 25 giri in un secondo, la frequenza della f. e. m. prodotta è di 1000 p. s. I poli rotanti hanno generalmente la forma di denti, che sporgono dal rotore.

La f. e. m. prodotta da un alternatore dipende dal flusso magnetico, che i conduttori tagliano in un secondo. Essa quindi aumenta, se accresciamo il flusso magnetico di ciascun polo, o il numero dei poli, che in un secondo passano davanti ad un conduttore, o infine il numero dei conduttori collegati in serie (per modo da sommarne gli effetti). Possiamo esprimere quanto sopra colla relazione.

$$E = \Phi N f k \qquad (66)$$

dove E = tensione efficace (par. 51), cioè quella indicata da un volmetro.

Φ = flusso magnetico per polo, in maxwell o « linee di forza magnetica ».

N = numero dei fili utili dell'armatura, collegati in serie.

f = frequenza in periodi al secondo.

k = fattore, che dipende dal tipo dell'avvolgimento e da altri elementi, che non è il caso di considerare. [1]

---

[1] Lo studioso, che ha maggiore preparazione, può facilmente comprendere che se 2f poli passano in un secondo davanti a un conduttore, il flusso medio tagliato al secondo è $2f \times \Phi$. Perchè in un conduttore si produca la f. e. m. di 1 V

77. Relazione fra potenza applicata e corrente. — La potenza, assorbita da un circuito elettrico in ogni istante, è proporzionale alla f. e. m. ed anche alla corrente: è perciò proporzionale al loro prodotto. Se il generatore di corrente è mosso da una macchina qualunque, la potenza, che la macchina deve sviluppare, dipende evidentemente da quella assorbita dal circuito. Rendiamoci ragione del fatto, pel quale un aumento di corrente in un generatore richiede dalla macchina, che lo muove, una potenza più elevata.

Si faccia ruotare a velocità costante la spira della fig. 102 per mezzo di una manovella, o di un motore a benzina, o di una macchina a vapore, o di un motore elettrico, ecc. Al momento in cui la spira è nel piano del foglio ed il conduttore a si sposta verso il lettore, si induce in esso una f. e. m. nel senso della freccia. Se la spira è chiusa, circolerà in essa una corrente nello stesso senso. Ma è noto (par. 43) che, quando un conduttore percorso da corrente è immerso in un campo magnetico, tende a muoversi nel campo. La forza, che spinge il conduttore, è proporzionale alla intensità del campo e a quella della corrente, e lo spostamento del conduttore avviene in una direzione, che è data dalla regola della mano sinistra [1]. Applicando questa regola al conduttore a, si vede che la forza agente su di esso tende a spostarlo verso il di dietro del foglio, in direzione opposta cioè

---

esso deve tagliare in un secondo 10^8 linee di flusso. Quindi i volt medi per conduttore, sono $\frac{2f \times \Phi}{10^8}$. Ogni spira si compone di due conduttori in serie, per cui dobbiamo moltiplicare l'espressione precedente per 2. Le letture del voltmetro non sono dei volt medi, ma dei volt efficaci. Con f. e. m. sinoidali, il rapporto fra i volt efficaci e quelli medi è 1,11; quindi dobbiamo moltiplicare per 1,11. Riunendo in un solo fattore tutti i termini numerici, si vede che il k della formula è in parte $\frac{2 \times 2 \times 1,11}{10^8}$ ossia $\frac{4,44}{10^8}$. Esso comprende inoltre un fattore minore di 1, che dipende dal tipo dell'avvolgimento usato; perchè la f. e. m. risultante delle f. e. m. non in fase, che si producono nelle spire di un avvolgimento distribuito, è minore della loro somma algebrica.

[1] Il pollice, l'indice ed il medio della mano sinistra disposti ad angolo retto indicano rispettivamente le direzioni del moto, del flusso e della corrente.

al moto impressogli dal motore: il conduttore, in quanto è sede di corrente, offre al motore una resistenza, che non si avrebbe, se il conduttore non fosse percorso da corrente. Più intensa è la corrente nel conduttore e maggior lavoro deve compiere il motore, per far ruotare il conduttore ad una data velocità, e perciò maggiore deve essere la potenza da esso sviluppata. Lo stesso ragionamento, ripetuto per il conduttore *b*, ci fa conchiudere che esso si comporta esattamente come il conduttore *a*.

78. **Perdite**. — Non tutta la potenza meccanica, fornita ad un generatore dal suo motore, compare sotto forma elettrica. Una parte si trasforma inevitabilmente in calore, e va quindi praticamente perduta. Le perdite di potenza che si verificano in una macchina, si possono classificare come segue:

1. Perdite meccaniche.
2. Perdite nel rame.
3. Perdite nel ferro.

Le perdite meccaniche sono quelle dovute all'attrito sui cuscinetti, all'attrito delle spazzole sul collettore, e agli attriti fra l'aria e la parte mobile della macchina. Queste ultime non sono molto importanti nelle macchine a velocità moderata, ma divengono notevoli nel caso di generatori ad altissima velocità. Nei generatori, di cui particolarmente ci occupiamo, e che sono a velocità pressochè costante, le perdite meccaniche non dipendono dalle variazioni di carico, ma sopratutto dallo stato dei cuscinetti e delle spazzole. A questo proposito saranno date, alla fine di questo capitolo (par. 106), alcune norme pratiche sulla manutenzione delle macchine.

Le perdite nel rame sono dovute alla corrente, che circola negli avvolgimenti dell'eccitazione e dell'indotto, i quali presentano una certa resistenza. Esse si dividono perciò in due categorie: perdite nel rame del circuito di eccitazione e perdite nel rame del circuito dell'indotto. Le prime si dicono pure «perdite di eccitazione». Poichè gli avvolgimenti di campo hanno una resistenza (che generalmente è elevata), la corrente, che vi circola, produce calore. Il riscaldamento è proporzionale al quadrato della corrente, e si ha, in watt,

$$W = I^2 . R_e \qquad (67)$$

dove I_e è la corrente in amper, ed R_e la resistenza in ohm degli avvolgimenti di eccitazione del circuito.

Per avere la stessa tensione alle spazzole, quando la corrente d'armatura è intensa, occorre una eccitazione maggiore di quando la corrente dell'indotto è debole. Di conseguenza la perdita nel rame degli avvolgimenti di campo, o la perdita per eccitazione, è alquanto maggiore sotto grandi che sotto piccoli carichi.

La perdita nel rame dell'indotto è del tipo RI^2 come quella per l'eccitazione; essa varia quindi col quadrato della corrente nell'indotto e perciò col quadrato del carico. Si cerca di realizzare resistenze di indotto piccole al possibile; nei grandi generatori la resistenza dell'indotto è dell'ordine di piccole frazioni di ohm; tuttavia le perdite sono sempre considerevoli, tenuto conto delle elevate intensità di corrente.

Le perdite nel ferro o perdite nel circuito magnetico si dividono in due categorie: perdite per isteresi e perdite per correnti parassite. Le perdite per isteresi sono dovute alle rapide inversioni della magnetizzazione nel nucleo dell'indotto. Ciascuna molecola del nucleo si può infatti considerare come un piccolissimo magnete; quando la magnetizzazione del nucleo cambia di direzione, le molecole devono orientarsi, vincendo la loro coesione molecolare, e nel far ciò assorbono energia. In una macchina elettrica, durante ciascun periodo, avviene una doppia inversione della magnetizzazione: si hanno quindi numerose inversioni della magnetizzazione nell'intervallo di un secondo, e di conseguenza la potenza assorbita é notevole.

Le correnti parassite sono deboli correnti elettriche, indotte nelle lamiere di ferro, di cui è costituito il nucleo dell'armatura. Più sottili sono le lamiere, meno intense sono le correnti; ed è appunto per combattere le correnti parassite che il nucleo viene laminato.

Sia le perdite per isteresi che quelle per correnti parassite si risolvono in produzione di calore nel nucleo, nel quale si dissipa una potenza, che deve essere fornita dal motore. Perciò gli ingegneri, che progettano macchine elettriche, si preoccupano di ridurle al possibile.

Non si possono riferire dati specifici, riguardanti l'entità delle varie perdite, descritte nei paragrafi precedenti, perchè esse dipendono da molti fattori, quali le dimensioni, la velocità di funzionamento ed il tipo di macchine prese in esame. Ma, al solo scopo di dare un'idea dell'ordine di grandezza di tali perdite, si può dire che, nei generatori di tipo comune a pieno carico, le perdite meccaniche o per attrito oscillano fra il 6 per cento, in una macchina da 1kW, e l'1 per cento in una macchina della potenza di 1000 kW; le perdite di eccitazione, tra il 6 e l'1 per cento; le perdite per effetto joule nell'indotto tra il 4 e l'1 per cento; le perdite nel nucleo tra il 4 e l'1 per cento.

Sarà ora chiaro perchè la potenza, che può essere erogata da un generatore, ha un limite. Generalmente le macchine sono calcolate con un certo margine: ma non possono sostenere a lungo il calore prodotto da notevoli sovraccarichi. L'aumento di corrente dà luogo ad una più rapida produzione di calore e ad una sovraelevazione di temperatura. Le temperature elevate compromettono l'isolamento delle macchine. Il cotone ad esempio, che è l'isolante abituale dei conduttori di rame, non regge per lungo tempo a una temperatura di 100°. Deterioratosi l'isolante dei conduttori, la corrente si disperde in vie diverse da quelle che dovrebbe seguire, e la macchina incorre in gravi avarie.

79. **Targhetta delle indicazioni.** — Tutte le macchine elettriche, siano esse generatori o motori, a corrente continua o alternata, si progettano in base a determinate condizioni di funzionamento. È norma pratica commerciale quella di attaccare ad ogni macchina elettrica, prima che lasci la fabbrica, una targhetta informativa di ottone, che ha il nome di « targa delle indicazioni ». Essa d'ordinario porta il numero, col quale la macchina può essere identificata nella serie, e il nome del fabbricante; indica se la macchina è un generatore od un motore, e qual'è la massima potenza erogabile; se la macchina è per corrente alternata o continua; e nel caso sia a corrente alternata, dà la frequenza e il numero delle fasi; indica infine a quale velocità, a quale tensione e a quale corrente massima la macchina

può funzionare. Alcune di queste indicazioni talvolta mancano, ma la maggior parte di esse sono essenziali. Chi desiderasse impratichirsi del macchinario elettrico, dovrebbe abitualmente esaminare la targa delle indicazioni delle macchine alla sua portata, e notare le loro differenze di dimensioni, di costruzione e di impiego.

Si è detto precedentemente che la potenza elettrica si misura in watt (o Kilowatt « kW », se notevole). In un circuito a corrente continua i watt sono il prodotto dei volt per gli ampere. In un circuito a corrente alternata si deve tener conto anche di un altro elemento; e per avere la potenza media dobbiamo moltiplicare i volt per gli ampere e per il « fattore di potenza » [1]. Ci si aspetterebbe che la potenza di una macchina a corrente alternata fosse espressa in watt o kilowatt; se si guarda invece la targa delle indicazioni di un generatore a corrente alternata si trovano generalmente le lettere « kVA » (Kilovolt-ampere): la potenza erogabile cioè, invece di essere espressa in watt effettivi, è indicata dal prodotto degli ampere per i volt, diviso per 1000. La ragione di ciò appare evidente, se si ricorda che la potenza di una macchina elettrica dipende dal grado di riscaldamento, a cui può essere sottoposta.

Il riscaldamento delle bobine di eccitazione e del nucleo dell'armatura dipende dalla tensione generata, perchè questa è funzione dell'intensità del campo magnetico, e quindi della corrente di eccitazione. Il riscaldamento dei conduttori dell'armatura è prodotto dalla corrente di armatura, non importa se sia o no in fase con la f. e. m. Il riscaldamento totale della macchina è funzione quindi dei volt e degli ampere, indipendentemente dalla potenza erogata, che può essere grande o piccola, a seconda dell'angolo di fase fra tensione e corrente.

80. **Rendimento.** — Il rapporto fra la potenza utile, erogata

---

[1] Il fattore di potenza è infatti il numero per il quale dobbiamo moltiplicare i volt-ampere, per avere i watt veri (par. 5[illegible]): comunemente è espresso in per cento: non può superare il 100 %, ed è generalmente minore di tal valore. Esso dipende dalle caratteristiche di induttanza e di capacità del generatore e del circuito da esso alimentato.

da una macchina, e la potenza da essa assorbita dicesi rendimento della macchina.

Qualunque sia il tipo di macchina preso in esame, è impossibile evitare completamente perdite di potenza; la potenza erogata è quindi minore di quella assorbita, ed il rendimento è inferiore al 100 %. Esso è più basso nelle piccole che nelle grandi macchine elettriche; e per una data macchina varia col carico. Alcune perdite sono indipendenti dal carico; così le perdite meccaniche, le perdite di eccitazione e le perdite nel nucleo. Le altre crescono col carico; rapidamente le perdite nel rame dell'armatura, più lentamente alcune perdite addizionali del nucleo, ed una parte delle perdite di eccitazione. Quando la potenza erogata è piccola, la maggior parte della potenza assorbita si consuma nelle perdite costanti ed il rendimento è basso: crescendo la potenza erogata, le perdite variabili divengono molto sensibili, ed abbassano ancora il rendimento. Per alcuni carichi intermedi, generalmente prossimi al carico normale, indicato dalla targa delle indicazioni, il rendimento è massimo. A pieno carico e in macchine di tipo comune, esso può variare dell'80 %, per un generatore da 1 kW, al 95 % per un generatore da 1000 kW.

81. **Caduta di tensione.** — Meno poche eccezioni, i generatori elettrici sono destinati a funzionare a velocità costante o quasi. Un generatore, in cui la velocità e l'eccitazione del campo fossero costanti, darebbe, indipendentemente dalla corrente erogata, una tensione costante, se non intervenisse un fenomeno, che sarà illustrato in appresso, e che è la reazione d'indotto. Una macchina generatrice, che funzioni in queste condizioni, si dice « a tensione costante ».

La corrente erogata da una macchina è quella assorbita dal circuito esterno. In un impianto d'illuminazione dipende dal numero delle lampade accese. Nel caso di un generatore, che fornisca energia ad uno spinterometro, la corrente erogata dipende in notevole misura dalla regolazione dello spazio spinterometrico. In relazione a questo concetto, la parola « carico » si usa comunemente, per indicare gli utenti collegati alla linea,

oppure la corrente, che essi assorbono. Generalmente non vi è incertezza fra le due interpretazioni.

Supponiamo di avere una macchina, che dia una certa tensione con carico nullo. Se dalla macchina facciamo alimentare un circuito, la tensione ai suoi terminali in generale si abbasserà, e quanto più intensa è la corrente assorbita dal circuito, tanto più forte sarà la caduta di tensione. La caduta percentuale di tensione si trova sottraendo la tensione a pieno carico dalla tensione a vuoto, dividendo la differenza per la tensione a pieno carico, e moltiplicando tutto per 100.

Di qui la formula:

$$\text{Caduta di tensione percentuale} = \left(\frac{V_o - V_t}{V_t}\right) \times 100.$$

dove V_o = tensione a vuoto, e
V_t = tensione a pieno carico.

Una caduta percentuale piccola indica che la tensione rimane pressochè costante col variare del carico.

82. **Impedenza e reazione dell'armatura.** — Vi sono due ragioni, che spiegano perchè la tensione di un generatore diminuisce, quando esso provvede corrente, in confronto a quando funziona a vuoto, anche se la velocità e la corrente di eccitazione si mantengono costanti.

(a) Gli avvolgimenti d'armatura posseggono resistenza e reattanza: perchè la corrente circoli nell'armatura, occorre una f. e. m., che compensi la caduta di tensione nell'armatura stessa. La tensione disponibile nel circuito esterno sarà quindi data dalla differenza fra tutta la f. e. m. generata dalla macchina e la precedente. Più intensa è la corrente, maggiore è la caduta di tensione nell'armatura, e minore la f. e. m. disponibile nel circuito esterno.

(b) Gli avvolgimenti dell'armatura ed il nucleo costituiscono nel loro insieme un elettromagnete. Quando la corrente circola negli avvolgimenti, produce un campo magnetico, che si compone col campo principale di eccitazione; e di conseguenza la

f. e. m. generata dalla macchina, che dipende dal campo magnetico risultante, diminuisce.

Il fenomeno, per cui la presenza di corrente nell'armatura altera il campo magnetico di eccitazione, dicesi « reazione di armatura ». La reazione d'armatura avviene sia nelle macchine a corrente continua che in quelle a corrente alternata, sia nei motori che nei generatori.

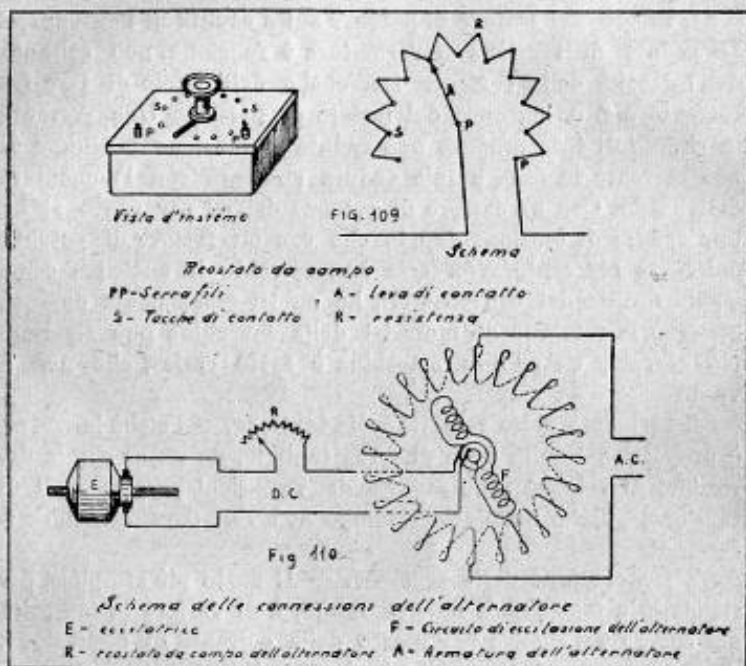
83. **Effetto del fattore di potenza sulla caduta di tensione.** — La caduta di tensione nell'armatura è funzione non soltanto dell'intensità della corrente, ma anche dell'angolo di fase fra corrente e f. e. m., ossia del fattore di potenza. Una corrente in ritardo di fase produce una caduta di tensione maggiore di una corrente in fase, e tale caduta aumenta con l'aumentare del ritardo. Con un fattore di potenza dell'80 per cento, si ha una caduta di tensione doppia che con un fattore di potenza del cento per cento. Viceversa una corrente in anticipo, come quella fornita dai condensatori, ha effetti esattamente opposti, cosicchè la tensione ai morsetti della macchina può risultare più elevata, quando la macchina è sotto carico, che non a vuoto.

84. **Influenza della velocità sulla tensione.** — Poichè la f. e. m. è proporzionale alle linee di forza tagliate, ne segue che le variazioni di velocità sono seguite da variazioni proporzionali di tensione, purchè nello stesso tempo non varî il campo di eccitazione.

85. **Regolazione della tensione.** — Il modo più semplice, per regolare la tensione di un generatore, è di variare la intensità del campo magnetico per mezzo della corrente di eccitazione. A questo scopo è inserito nel circuito di eccitazione una resistenza regolabile, detta reostato di campo.

Un reostato di campo (fig. 109) è costituito da una certa quantità di filo, di una lega avente un resistenza relativamente elevata, montato su supporti isolanti, in una cassetta di ferro bucherellata, con una parete di ardesia, o rivestita di smalto isolante. Su questa è sistemata una maniglia, che ruotando fa contatto con successive tacche di ottone (una alla volta), le quali

fanno capo a punti diversi della resistenza, per modo che, se ne può inserire in circuito una quantità variabile, ed inoltre sono fissati i serrafili, mercé i quali il reostato si può inserire nel circuito di eccitazione.

La fig. schematica 109 illustra il principio di funzionamento di un reostato: la fig. 110 rappresenta le connessioni, attraverso

il reostato di campo R, fra l'eccitatrice E e il circuito di eccitazione F di un alternatore a induttori rotanti.

I piccoli alternatori dei complessi radiotelegrafici portatili non hanno reostato da campo. La tensione si mantiene sufficientemente costante agli scopi pratici, facendo marciare la macchina sempre alla stessa velocità.

C. Generatori a corrente continua.

86. Il collettore. — La fig. 102 illustra il principio di funzionamento di una macchina, nella quale, per effetto della rotazione dell'armatura in un campo magnetico fisso, si generano correnti alternate. Supponiamo ora di collegare ciascuno dei due capi della spira a un mezzo anello metallico (fig. 111), sul quale strisci

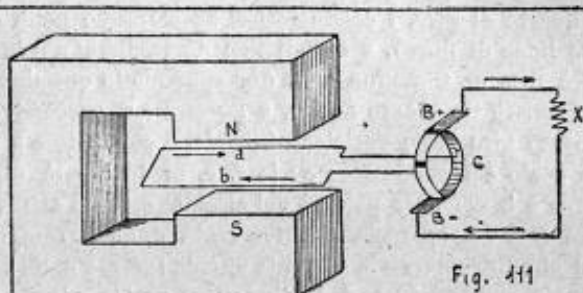



Fig. 111

Produzione di fem raddrizzata in una dinamo
NS = magnete C = collettore e lamelle
ab = spira mobile X = circuito esterno

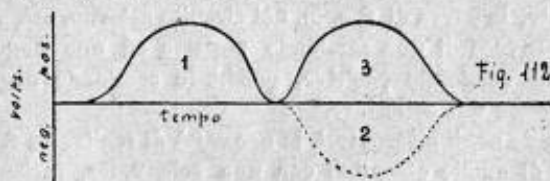



Fig. 112

Raddrizzamento della corrente
La semionda negativa 2 è raddrizzata nella semionda positiva 3.

una spazzola fissa, rispettivamente $+B$ o $-B$. Ad ogni mezzo giro, che la spira fa, si invertono le connessioni fra la spira ed il circuito esterno, per modo che in questo si ha una corrente pulsante, che conserva sempre lo stesso senso. Il dispositivo di inversione dicesi « collettore ». Le spazzole devono essere siste-

mate in punti tali, che l'inversione delle connessioni accada nell'istante in cui la corrente nella spira è nulla e prossima a cambiare di senso.

Consideriamo la fig. 111: il conduttore *a*, nell'istante, cui la figura si riferisce, è vicino al polo *N*: se esso ruota verso il lettore avrà f. e. m. diretta verso destra: la corrente passerà nel circuito esterno attraverso il mezzo anello, che è in contatto con la spazzola superiore, la quale sarà quindi la spazzola +. Compiuto un quarto di giro, i conduttori si sposteranno nella direzione delle linee di flusso, e quindi non ne taglieranno: in essi non si avrà f. e. m. Ciascuna delle due spazzole in quest'istante starà per lasciare un mezzo anello, e passare sul successivo.

Dopo mezzo giro dalla posizione iniziale, il conduttore *b* avrà scambiato posto col conduttore *a*: la f. e. m. in *b* sarà diretta verso destra e la corrente passerà nel circuito esterno attraverso la spazzola *B*+. La spazzola positiva resta dunque sempre la stessa; nel circuito esterno la corrente circola sempre nello stesso senso, mentre nei conduttori dell'indotto cambia alternativamente di segno.

Se disegnamo, collo stesso sistema usato in fig. 95, e cioè prendendo i tempi sulle ascisse ed i valori istantanei di f. e. m. sulle ordinate, la curva di f. e. m. nel circuito esterno, otteniamo la fig. 112. Invece di una semionda positiva ed una negativa, si hanno due semionde positive, poichè le semionde negative sono raddrizzate dal collettore.

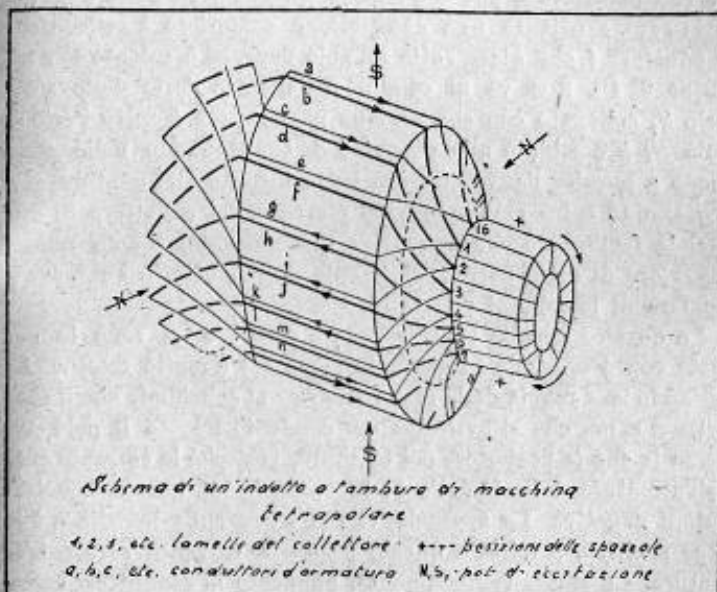
Come accade negli alternatori, la necessità di realizzare f. e. m. più intense di quelle ottenibili con una sola spira, insieme ad una migliore utilizzazione del materiale, porta ad adottare avvolgimenti d'armatura costituiti da molte spire e campi magnetici multipolari.

Se il collettore avesse un numero limitato di segmenti, per esempio tanti segmenti quanti sono i poli, la corrente nel circuito esterno sarebbe nettamente pulsante. Per avere una f. e. m. continua, di valore praticamente uniforme, si ricorre a collettori costituiti da molti segmenti, intorno a qualche centinaio nei grandi generatori e motori, e non meno di 20 o 30 nelle picco-

lissime dinamo per circuiti a 110 volt. Il collettore è costituito da piastrine di rame, leggermente cuneiformi, separate da sottili fogli isolanti di mica, e disposte sopra un tamburo cilindrico, sul quale sono trattenute da forti collari, sistemati alla estremità, ed isolati dalle piastrine per mezzo di anelli di mica. Le estremità dei conduttori dell'indotto sono saldate alle piastrine, le quali a tal uopo hanno ordinariamente dal lato dell'indotto delle code o forcelle.

Schema di un indotto a tamburo di macchina tetrapolare

1, 2, 3, etc. lamelle del collettore   +—— posizioni delle spazzole

a, b, c, etc. conduttori d'armatura   N, S, poli di eccitazione

87. **Avvolgimenti ad anello e a tamburo.** — Gli avvolgimenti dell'indotto rientrano in due vaste categorie di avvolgimenti chiamati: avvolgimenti ad «anello» ed a «tamburo», secondo il modo con cui i conduttori sono montati sul nucleo. Negli avvolgimenti ad anello le spire sono costituite da filo avvolto sul nucleo con successive passate, fino a chiudere l'avvolgimento, e a rivestire tutto il nucleo stesso, che è a forma di anello. Il filo utile è soltanto

quello adagiato sulla faccia esterna dell'anello verso i poli: gli altri lati delle spire sono semplici tratti di connessione. Questo tipo di avvolgimento è oggi scarsamente usato.

Le macchine moderne hanno avvolgimenti del tipo indicato in Fig. 113, che è un avvolgimento a « tamburo ». I conduttori sono tutti sulla faccia esterna del nucleo, ed i due lati utili di una spira giacciono sotto poli adiacenti di nome contrario. Sull'indotto rappresentato in figura, partendo dalla piastrina 1 si va al conduttore *b*, che nell'istante considerato è sotto a un polo sud: esso, mediante una connessione posteriore è collegato al conduttore *i*, che giace sotto un polo nord, ed è saldato alla piastrina 2. Da 2 si va al conduttore *d* sotto l'orlo dello stesso polo *S*, collegato con connessione posteriore a *k* sotto l'orlo del polo *N*; *k* è saldato alla piastrina 3. Continuando nello stesso modo a seguire l'avvolgimento tutto intorno all'armatura, si ritrovano 16 spire collegate a 16 piastrine del collettore. Si comprende facilmente che in pratica una macchina ha un numero maggiore di spire nell'avvolgimento dell'indotto, e un maggior numero di lamelle al collettore.

Le quattro lamelle contrassegnate con + e — sono in contatto con 4 spazzole in comunicazione col circuito esterno. Applicando la « regola della mano destra » si conchiude che il senso della f. e. m., che si sviluppa nei conduttori sotto il polo *N*, è verso la faccia posteriore del tamburo, cosicchè la corrente entra nell'armatura dalla lamella 3: la spazzola di questa lamella è quindi negativa. La spazzola, che si trova sulla lamella 7, è invece positiva, perchè in questo punto la corrente esce dall'armatura. Lo stesso ragionamento, applicato ai conduttori sotto i poli *S*, conduce allo stesso risultato nei riguardi della polarità delle spazzole, che sono alternativamente positive e negative. Nelle macchine aventi più di due gruppi di spazzole, tutte le spazzole positive sono riunite fra loro da un grosso conduttore, e così le negative: fra i due gruppi di spazzole si chiude poi il circuito esterno.

Trattando degli alternatori, si sono descritti i particolari costruttivi dell'armatura, e si è detto che i conduttori sono si-

stemati entro scanalature, ricavate alla superficie di un nucleo laminato. Gli indotti delle macchine a corrente continua sono fatti nello stesso modo, colla sola variante che le estremità degli avvolgimenti sono saldate alle lamelle del collettore.

Le parti principali dell'indotto di una macchina a corrente continua sono rappresentate nelle Fig. 114, 115 e 116. La prima riproduce le piastrine di rame del collettore, separate da fogli di mica, e tenute insieme in forma anulare da un solido collare provvisorio. La figura seguente riproduce il collettore montato sulla fronte dell'indotto. Dalle lamelle del collettore si vedono spuntare le forcelle, che collegano il collettore alle spire dell'indotto. Sul nucleo, sottilmente laminato, si notano i denti, le scanalature e tre condotti d'aria per la ventilazione. L'ultima fig. ci rappresenta le spire dell'indotto, sistemate nelle scanalature, saldate al collettore.

88. **Eccitazione separata, in serie, in derivazione, compound.** — A differenza degli alternatori, che richiedono per l'eccitazione una sorgente separata di corrente continua, le dinamo eccitano da sè i propri campi. A seconda dagli schemi di connessione fra l'indotto e gli avvolgimenti di eccitazione, si hanno vari tipi di dinamo tutti praticamente importanti. In questa trattazione non si considerano le dinamo magneto-elettriche, nelle quali l'eccitazione è fornita da magneti permanenti.

La fig. 117 indica i vari sistemi di eccitazione delle dinamo, e incidentalmente illustra i simboli convenzionali generalmente usati per rappresentare l'indotto e gli avvolgimenti del campo. Queste figure sono semplicemente schematiche, e non pretendono di dare un'idea delle proporzioni delle varie parti della macchina: così una spirale unica rappresenta tutto un gruppo di bobine dell'eccitazione: l'indotto e le spazzole sono indicati con un cerchio [1] e due tratti.

Eccitazione separata. — Il primo schema rappresenta una macchina, in cui la corrente di eccitazione è fornita da una sorgente,

---

[1] Si noti la differenza collo schema di un alternatore, nel quale si hanno due cerchi, che rappresentano i due anelli collettori.

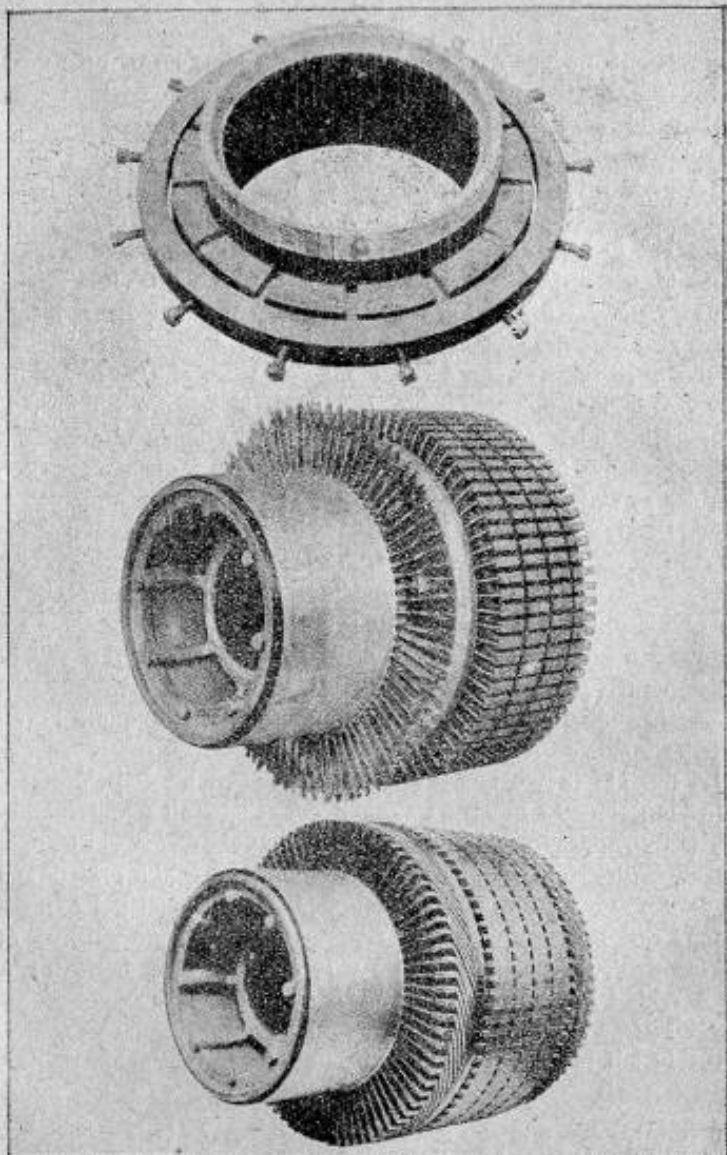
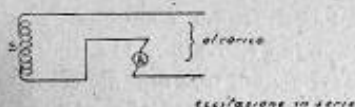
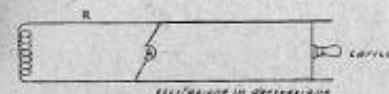



Fig. 114 (in alto) — Montamento delle lamelle del collettore. Fig. 115 (in mezzo) — Nucleo dell'indotto con collettore a posto. Fig. 116 (in basso) — Indotto completo colle spire dell'avvolgimento saldate alle forcelle del collettore.

completamente indipendente dall'indotto, quale può essere una batteria di accumulatori. Una macchina di questo tipo dicesi « a eccitazione separata ».

Eccitazione in derivazione. — Lo schema seguente si riferisce ad una macchina, nella quale la corrente uscente dalla spazzola positiva dell'indotto si divide in due parti: una che va al circuito di utilizzazione, l'altra al circuito di eccitazione. Le due correnti si riuniscono poi, e tornano insieme nell'indotto dalla spazzola negativa. Questo tipo di dinamo dicesi in derivazione.

Per l'eccitazione di una dinamo in derivazione basta una piccola frazione della corrente totale prodotta dalla macchina; intorno al 5 o 6 per cento per una dinamo da 1 kW., e circa il 2 per cento per una dinamo da 100 kW.

Il circuito di eccitazione in una dinamo in derivazione è costituito da molte spire, 2000 o 3000, di filo sottile, isolato. Così l'eccitatrice in derivazione, bipolare, dell'alternatore del complesso radiotelegrafico da campo, di cui la fig. 119 dà lo schema,

ha, per ciascuna massa polare, 2800 spire di filo di circa 0,25 mm. di diametro. Si impiega una così notevole quantità di filo sottile per due ragioni: 1) perchè data la sua elevata resistenza la corrente che vi circola è poco intensa; 2) perchè dato il gran numero di spire, questa debole corrente basta a produrre la necessaria forza magnetomotrice (che dipende dagli « amperespire »).

Eccitazione in serie. — Quando tutta la corrente prodotta passa dall'indotto nel circuito di eccitazione, il generatore è ad « eccitazione in serie ». La fig. 117 indica due diversi modi di rappresentare lo schema di una dinamo in serie. Per gli avvolgimenti di campo di una dinamo in serie si usa del filo grosso: essi devono infatti essere percorsi da tutta la corrente erogata dalla macchina; dei fili sottili si riscalderebbero e l'isolante si deteriorerebbe. Gli amperespire necessari sono provveduti da un gran numero di ampere e da poche spire di filo.

Eccitazione compound. — Quando il campo di un generatore è prodotto da due avvolgimenti, uno di filo sottile in derivazione, e l'altro di poche spire di conduttore grosso in serie con l'indotto, il generatore dicesi « ad eccitazione compound » o più comunemente generatore « compound ». La fig. 117 indica due diversi modi di rappresentare lo schema di una dinamo compound.

89. **Caratteristica della tensione ai morsetti.** — Perchè si usano nelle dinamo schemi di eccitazione diversi? Il carico di un generatore non è nella maggior parte dei casi costante, perchè il numero di utenti alimentato dal generatore è d'ordinario variabile: così può da istante a istante variare il numero delle lampade, che si tengono accese; e alcuni dei motori, inseriti in circuito, possono essere fermati, mentre altri messi in moto. Tali variazioni di carico influiscono sempre sulla tensione ai morsetti del generatore, ma in maniera diversa a seconda del tipo di eccitazione di esso.

Per renderci ragione di questa differenza di effetti in ciascun caso, consideriamo una dinamo, che marci a vuoto (senza carico) e a velocità costante; applichiamo gradatamente del carico, e supponiamo dapprima che la dinamo presa in esame sia ad eccitazione separata. La dinamo a vuoto produce una certa f. e. m.:

quando la corrente circola nell'indotto, parte di questa f. e. m. viene spesa per compensare la caduta ohmica nell'indotto stesso. Si ha pure un'altra causa, che indebolisce il campo magnetico: la « reazione d'indotto »; ambedue le cause producono effetti tanto più sensibili quanto più intensa è la corrente, che circola nell'indotto. Di conseguenza la tensione ai morsetti, quando la corrente è intensa, è più bassa di quando la corrente è debole. La curva *a*, Fig. 118, ci rappresenta graficamente come la tensione vari al variare del carico: la corrente di carico in ampere è misurata lungo l'asse delle ascisse, la tensione ai morsetti lungo l'asse delle ordinate. Al crescere della corrente, la tensione diminuisce: dalla curva si ricava che la differenza fra la tensione a vuoto e quella a pieno carico è dell'ordine dell'8 per cento, come effettivamente si verifica nelle dinamo piuttosto grandi, da 100 kW o più. Per macchine di potenza minore, la differenza sarebbe più forte.

Se la dinamo considerata è in derivazione, per effetto della caduta di tensione ai morsetti, si ha anche una corrente meno intensa nel circuito di eccitazione; il flusso magnetico quindi si indebolisce man mano che la corrente d'indotto cresce. Di conseguenza la tensione ai morsetti si abbassa di più che se la dinamo fosse ad eccitazione separata. Perciò la curva *b* della Fig. 118 è più cadente della curva *a*.

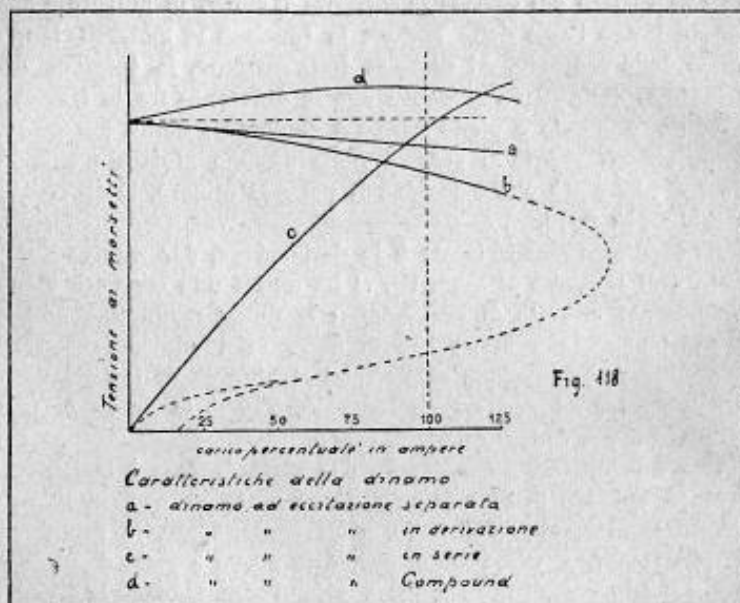
Con una dinamo ad eccitazione in serie la cosa è molto differente. Quando la dinamo non dà corrente, si utilizza il solo magnetismo residuo del ferro, e di conseguenza la macchina genera una f. e. m. minima. Perciò la curva *c* parte da un valore iniziale piccolissimo al disopra dello zero. Quando la dinamo eroga corrente, questa, circolando negli avvolgimenti di eccitazione, rinforza il campo magnetico, e produce una f. e. m. più elevata. Più intensa è la corrente assorbita dal circuito esterno, maggiore sarà la tensione. La curva *c* quindi sale.

Nei generatori compound si combinano i due effetti. Tenuto conto delle proporzioni relative dei due avvolgimenti, la tensione a pieno carico può essere eguale a quella a vuoto, maggiore o

minore; quest'ultimo caso è raro. La curva *d*, Fig. 118, si riferisce ad un generatore « iper-compound ».

Se la tensione a pieno carico fosse la stessa che a vuoto, il generatore avrebbe una caratteristica orizzontale.

Dall'esame oculare di un generatore, non è in generale possibile constatare se gli avvolgimenti di eccitazione sono di filo grosso o sottile, senza denudarli, perchè essi sono ricoperti dal rivestimento isolante e di protezione. Tuttavia, per distinguere

Caratteristiche della dinamo
a - dinamo ad eccitazione separata
b - " " " in derivazione
c - " " " in serie
d - " " " Compound

un'eccitazione in derivazione da una in serie, giova osservare le connessioni fra le bobine dei diversi poli. Se l'eccitazione è in derivazione, i conduttori di collegamento sono di piccola sezione, perchè devono portare solo una debole corrente; se l'eccitazione è in serie i conduttori sono grossi, e nelle dinamo di maggior potenza sono addirittura delle sbarre o larghe strisce di rame.

90. **Formula della f. e. m.** — Si vide che la f. e. m., che si

sviluppa in un conduttore, dipende dal numero di linee di forza magnetica tagliate, ed è eguale, in volt, al numero di linee di forza magnetica tagliate in un secondo, diviso per 10^8. Negli indotti delle dinamo molti conduttori sono riuniti in serie fra loro per modo che le loro f. e. m. si sommano. Così in Fig. 118, i conduttori, che si debbono percorrere per andare da una spazzola del collettore a quella seguente, attraverso l'avvolgimento dell'indotto, costituiscono un gruppo di spire in serie. Oltre a questa, si hanno tre altre vie simili; e i quattro gruppi sono poi riuniti in parallelo, per modo che la f. e. m. risultante è quella di un ramo solo, ma la corrente, che va al circuito esterno, è la somma delle correnti nei quattro rami.

Siano N il numero dei conduttori in serie,
n il numero dei giri al secondo (non a minuto primo) dell'indotto,
p il numero di poli magnetici,
Φ il flusso magnetico per polo.

Il flusso tagliato in un secondo da un conduttore è $n \times p \times \Phi$ linee. Dividendo per 10^8 si hanno i volt medi. Se i conduttori in serie sono N, la f. e. m. totale è

$$E = \frac{n \times p \times \Phi \times N}{10^8} \textit{volt} \qquad (68)$$

Questa formula ci dice che la tensione di un generatore può portarsi ad un valore prestabilito, variando la velocità n, il flusso Φ, il numero dei poli p o il numero dei conduttori N. Gli ultimi due elementi, naturalmente, sono inalterabili a macchina costruita; i primi due invece sono suscettibili di ampie variazioni, e forniscono un mezzo pratico per regolare la tensione.

Questa formula coincide perfettamente coll'altra, esposta nel capitolo 1, $E = \frac{N\Phi}{t}$. Per rendersene ragione, basta notare che, se in un secondo passano davanti a un conduttore $n \times p$ poli, il flusso è tagliato da un conduttore in $\frac{1}{n \times p}$ di secondo. Se quindi

nella espressione $E = \frac{N\Phi}{t}$ sostituiamo a t il suo valore $\frac{1}{n \times p}$ ritroviamo la formula (68).

91. **Regolazione della tensione.** — Un modo pratico per regolare la tensione di una dinamo ad eccitazione separata, in derivazione e compound è di disporre una resistenza regolabile, che dicesi « reostato da campo », (Fig. 109) in serie coll'avvolgimento di eccitazione. Nella Fig. 117 R è il punto, in cui tale reostato deve essere inserito in circuito.

92. **Effetto della variazione di velocità.** — Un aumento o diminuzione di velocità fa aumentare o diminuire, quasi nella stessa proporzione, la f. e. m. di una dinamo a eccitazione separata. Nelle dinamo in derivazione e compound l'effetto è più intenso. Ecco perchè i motori, destinati ad azionare queste dinamo, devono avere buoni regolatori di velocità, se si vuole una tensione costante.

In relazione alle sue speciali caratteristiche, ciascun tipo di dinamo è atto ad un particolare impiego. Ad esempio, l'eccitatrice di un alternatore per gruppi radiotelegrafici da campo è una dinamo in derivazione, perchè il carico non varia molto. La dinamo in derivazione si presta anche per la carica di batterie di accumulatori. Una dinamo compound è indicata per alimentare lampade a incandescenza, le quali esigono una tensione molto stabile, che cioè non vari, quando qualcuna di esse viene inclusa od esclusa.

D. Alternatori speciali per usi radiotelegrafici.

93. **Frequenza telefonica e frequenza radiotelegrafica.** — Le correnti alternate possono avere frequenze varie, entro limiti molto estesi. Tenuto conto della loro particolare utilizzazione, le frequenze in pratica si distinguono in tre classi ben definite:

(a). *Frequenze industriali*, generalmente da 25 a 60 periodi al secondo.

(b). *frequenze telefoniche*, dell'ordine da 500 a 1000 periodi al secondo.

(c). *Frequenze radiotelegrafiche*, generalmente fra 100.000 e 1.000.000 p. s., ma estendentisi al di sotto del limite inferiore fino a 10.000 p. s. e al di sopra del limite superiore fino a parecchi milioni di periodi al secondo.

Le frequenze industriali si usano per gli impianti di illuminazione e di forza. I grandi alternatori delle centrali, che provvedono corrente alle nostre città, funzionano a queste frequenze.

Le frequenze telefoniche (o frequenze acustiche) sono quelle percepibili al telefono. Quando una corrente alternata circola nei rocchetti di un telefono, il diaframma di questo vibra: le vibrazioni producono un suono: più rapide sono le vibrazioni più acuta è la nota. Le vibrazioni dell'ordine di 4.000 o 5.000 periodi al secondo danno un fischio acuto, mentre le note più basse della voce umana corrispondono a una frequenza dell'ordine di 100 periodi al secondo. Se un alternatore a 500 periodi fornisce corrente ad uno spinterometro a scintilla, e la scintilla scocca una volta nella semi-onda positiva e una volta nella semi-onda negativa, alla stazione ricevente il segnale è percepito al telefono come una nota musicale di mille vibrazioni al secondo.

Le frequenze radiotelegrafiche si hanno nei circuiti radiotelegrafici, per esempio nelle antenne. Esse sono troppo elevate per produrre in un telefono un suono udibile da un orecchio umano. Si possono realizzare mediante macchine elettriche, di tipo tutt'affatto speciale, ma generalmente si producono con altri mezzi.

94. Generatori di correnti a frequenza telefonica. — Si descriveranno brevemente alcuni tipi fondamentali di macchine per complessi radiotelegrafici, per mettere in evidenza come i concetti illustrati nel paragrafo precedente, trovino pratica applicazione nei moderni generatori. Poco interessa che le macchine descritte siano o no del tipo più recente: inquantochè i dettagli costruttivi subiscono varianti continue, che però non infirmano il concetto fondamentale di queste macchine: e d'altra parte essi saranno facilmente compresi, quando si siano ben studiate alcune macchine tipiche. Dagli esempi trattati si vedrà

pure come sul tipo di generatore impiegato influiscano le caratteristiche della macchina motrice.

Il generatore è solo una parte del complesso destinato a convertire varie forme di energia in energia elettrica: l'altra parte del complesso dipende dalla sorgente di energia utilizzata. Questa può essere il calore, ottenuto dal carbone o dalla benzina; una cascata d'acqua, dell'aria in moto, dei muscoli umani, o una batteria di accumulatori carica.

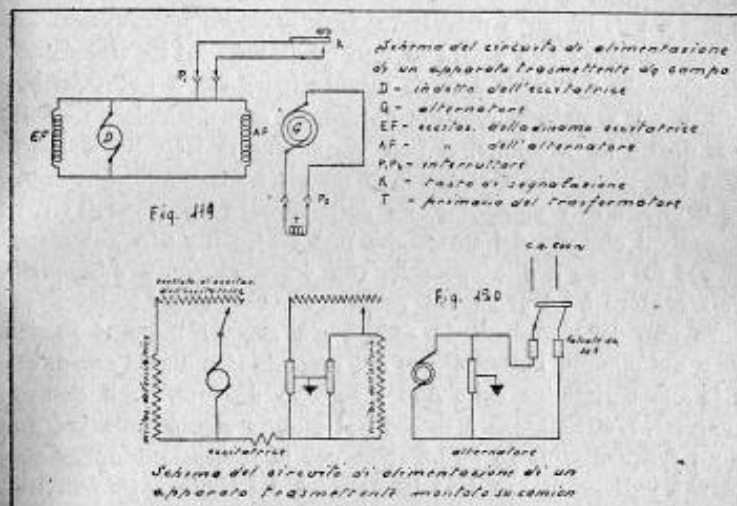
Alternatore mosso a mano. — I complessi radiotelegrafici da campo forniscono un esempio di alternatori mossi a mano. Il generatore è di forma cilindrica e completamente chiuso in un involucro metallico: ad una estremità ha un volano per rendere uniforme la velocità: all'altra gli ingranaggi (immersi nell'olio e chiusi in un involucro), per mezzo dei quali la potenza applicata all'albero a manovelle si trasmette all'asse dell'alternatore. L'albero a manovelle è mosso a mano per mezzo di una coppia di manovelle.

L'alternatore è una macchina da 250 watt e 500 periodi al secondo, del tipo ad armatura rotante. L'eccitatrice è di pezzo con l'alternatore: cosicchè si hanno una carcassa unica e un unico albero, che porta entrambe le armature. Ad una estremità della carcassa, attraverso due fori simmetrici dello scudo, si affacciano le due spazzole dell'eccitatrice: all'altra estremità, attraverso altre due aperture, le due spazzole dell'alternatore. La manovella può ruotare con una velocità, a seconda dei modelli, da 33 a 55 giri al minuto, che sull'asse dell'alternatore divengono 3300-5500, avendosi negli ingranaggi una moltiplicazione di velocità nel rapporto da 1 a 100.

La fig. 103 si riferisce appunto a questo alternatore; l'armatura ha 18 denti, tanti quanti i poli del sistema induttore; la frequenza di 500 periodi al secondo corrisponde ad una velocità dell'armatura di 3333 giri al minuto, e quindi ad una velocità di manovella di circa 33 giri al minuto.

Lo schema delle connessioni è indicato in fig. 119. Il circuito di eccitazione dell'eccitatrice è derivato direttamente dalle spazzole. Il circuito di eccitazione dell'alternatore è munito di una

presa con interruttore P_1 per il tasto di trasmissione. Quando il tasto è chiuso, la corrente continua circola nel circuito di eccitazione, e nell'armatura dell'alternatore si produce corrente alternata. Un altro interruttore P_2 provvede al collegamento dell'armatura col primario del trasformatore.

In considerazione dell'elevata velocità, alla quale questi generatori ruotano (alcuni raggiungono i 5.000 giri al minuto), le spazzole, ed in particolare quelle dell'eccitatrice devono premere a dolce attrito sulla superficie di scorrimento, che deve essere

mantenuta in ottime condizioni. La pressione delle spazzole sul collettore e sugli anelli deve essere la minima, compatibile colla necessità di assicurare un buon contatto. Gli inconvenienti di natura elettrica, che più comunemente si verificano, dipendono o da sporcizia del collettore, o da cattivi contatti delle spazzole, o infine dall'aver messo a posto le spazzole, per modo che il profilo della scarpa sia invertito rispetto al profilo del collettore.

Alternatore mosso da motore a benzina. — Il movimento a mano non è pratico che nei generatori molto piccoli, poichè un

uomo può sviluppare solo una potenza pari alla decima parte di un cavallo vapore, e per breve intervallo di tempo. Una delle sorgenti più convenienti di potenza è il motore a benzina. Esso è particolarmente adatto per stazioni isolate, o per gruppi portatili di una certa potenza, come i complessi radiotelegrafici da campo.

In questi complessi la velocità di rotazione dell'alternatore è quasi sempre più elevata di quella del motore: si hanno quindi puleggo con cinghia, o ruote dentate con catena, o ingranaggi, e la puleggia o ruota dentata o ingranaggio di minore diametro è sempre dalla parte dell'alternatore.

L'alternatore può essere di uno qualunque dei tre tipi antecedentemente descritti; a ferro rotante (par. 74), a induttori mobili, o ad armatura rotante. Capitando occasionalmente di dover aprire la macchina, si può verificarne il tipo. Se il rotore non ha avvolgimenti, si tratta di un alternatore a ferro rotante; se il circuito di alimentazione dell'apparato trasmettente (non sempre il circuito del tasto, che può essere inserito sull'eccitazione) fa capo a due spazzole, che scorrono sopra due anelli, l'alternatore è ad armatura rotante.

In uno dei complessi da campo più recenti, montati su vetture automobili, l'alternatore, del secondo tipo dianzi accennato, e la sua eccitatrice sono due macchine distinte, cogli assi accoppiati. L'alternatore è mosso dal motore stesso della vettura, e un frequenziometro dà all'operatore le indicazioni opportune, perchè egli possa regolare la velocità del motore in modo da realizzare la frequenza di 500 p. s.

La tabella seguente completa i dati relativi a questo complesso:

Frequenza dell'alternatore 500 p. s.; poli 30; potenza apparente 2,5 kVA; f. e. m. a vuoto 245 V; tensione sotto carico 110 volt; potenza con fattore di potenza 0,80 2 kW; velocità 2000 giri al minuto.

Eccitatrice in derivazione: 2 poli; tensione sotto carico 110 V; corrente massima 2,7 A; potenza 0,3 kW.

Data la velocità di 2000 giri al minuto, poichè i poli sono 30,

si avranno in un giro 15 periodi, e $\frac{15\times2.000}{60}$=500 p. s., come si è già detto.

Poichè la tensione sotto carico è di 110 V e la potenza apparente 2,5 kilovolt-ampere, la corrente a pieno carico sarà $\frac{2500}{110}$ ossia 22,7 ampere. Il prodotto dei volt-ampere per il fattore di potenza dà la potenza in watt; 110×22,7×0,80=2000 watt, o 2 kW. La forte caduta di tensione dal funzionamento a vuoto a quello sotto carico, 115 V, denota che l'armatura ha un'impedenza elevata. Non si deve però supporre che la caduta di tensione sia tutta imputabile alla resistenza dell'armatura, e rappresenti così una perdita di energia: una notevole parte di essa è invece da attribuire all'azione smagnetizzante (di cui si è fatto cenno nel paragrafo 82), che produce una diminuizione del flusso e quindi della f. e. m. generata.

Dallo schema delle connessioni in Fig. 120 si ricava che la tensione dell'eccitatrice è regolabile per mezzo del reostato da campo dell'eccitatrice: per quanto questo dispositivo sarebbe sufficiente a regolare la tensione prodotta dall'alternatore, si ha un secondo reostato in serie col circuito di eccitazione dell'alternatore stesso.

Tra ciascuna delle due macchine e la terra sono inserite delle forti resistenze, le quali hanno lo scopo di fornire alle cariche ad alta tensione una via di dispersione, impedendo il loro accumularsi.

Alternatore mosso da motore a vento. — Gli alternatori a frequenza telefonica sono largamente usati nei complessi radiotelegrafici degli aereoplani. L'alternatore è tenuto in moto da un motore a vento, sistemato sulla estremità anteriore dell'aereoplano. Per quanto non vi sia alcuna ragione teorica, perchè non si ricorra negli aereoplani ad altri tipi di motori, ed inoltre il motore a vento accresca la resistenza al moto del velivolo, pure, in considerazione delle elevate velocità di rotazione, che con questo tipo di motore si realizzano, e alla sua leggerezza, si sono studiati complessi r. t. con motore a vento; e di un modello recentissimo si darà la descrizione in appresso.

Alternatore mosso da un motore a corrente alternata. — Quando si ha disponibile corrente alternata di frequenza diversa da quella opportuna, si ricorre ad un complesso, costituito da un motore a corrente alternata e da un alternatore a 500 p. s. Complessi di questo genere, nei quali l'alternatore è del tipo descritto a

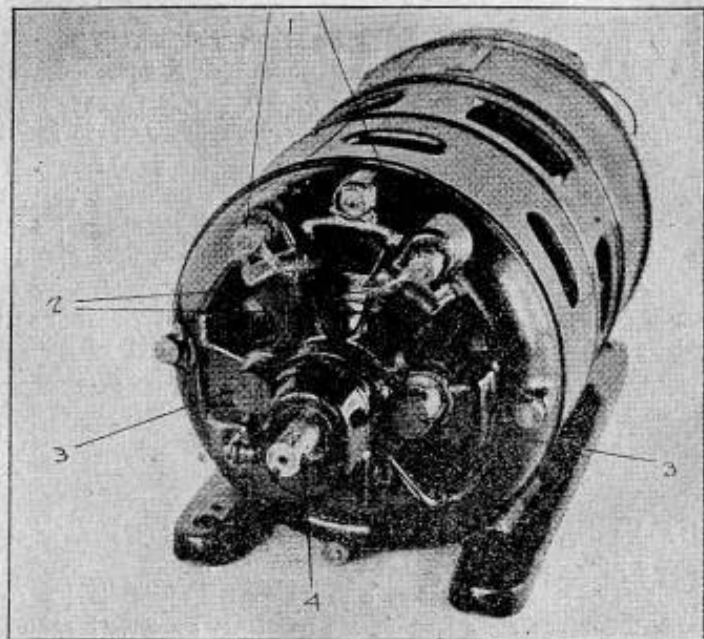



Fig. 121. — Piccolo complesso motore a c. c., alternatore (2500 giri al minuto - statore con 24 poli — rotore con 24 denti - 110 V - 3,2 A - 0,35 kVA).

1. Morsetti dell'eccitazione.
2. Anelli per la corrente alternata.
3. Morsetti dell'armatura.
4. Asse delle due macchine.

proposito degli alternatori mossi a mano, utilizzano corrente alternata a 60 periodi e 110 volt. L'alternatore e il motore a corrente alternata sono montati sopra un'unica piastra di fondazione, e hanno gli assi collegati da un accoppiatoio flessibile.

A meno di questo collegamento meccanico fra gli assi, le due

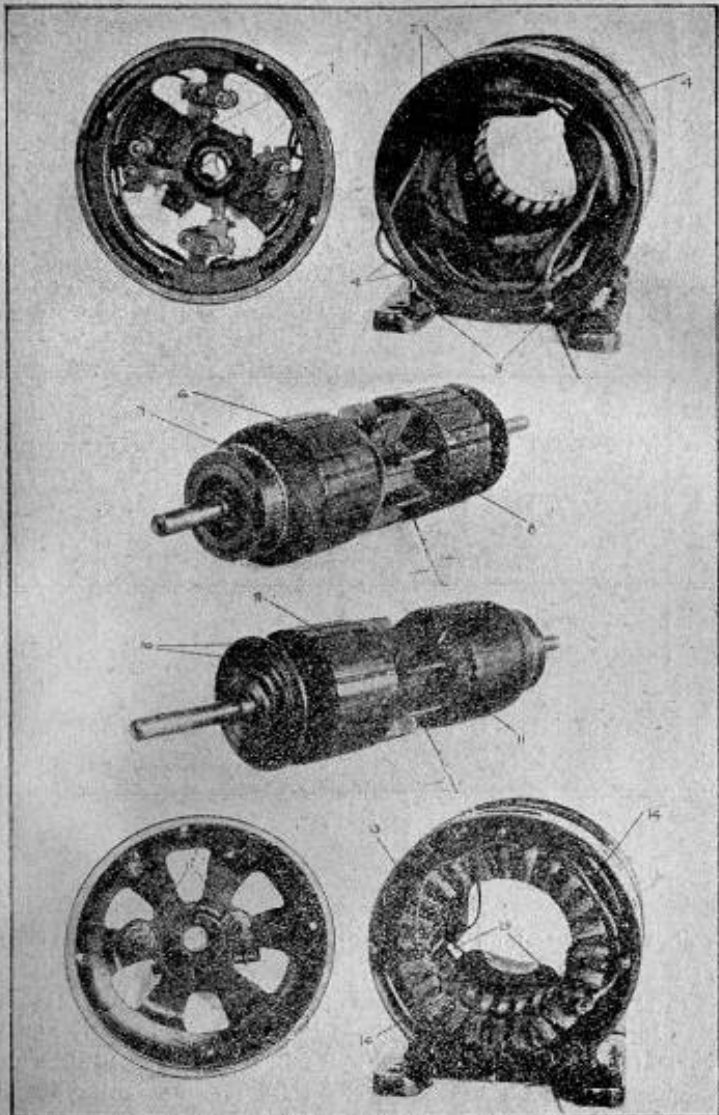
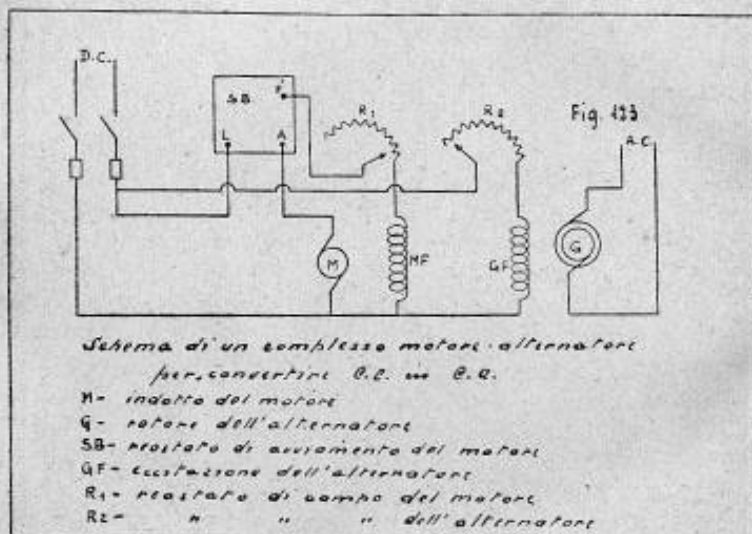



Fig. 122. — Parti del complesso rappresentato in fig. 121.

1. Spazzole del motore - 2. Bobine di eccitazione - 3. Poli del motore - 4. Carcassa del motore colle masse polari - 5. Terminali del circuito di eccitazione del motore - 6. Nucleo indotto del motore - 7. Collettore - 8. Avvolgimenti dell'armatura dell'alternatore - 9. Nucleo d'armatura dell'alternatore - 10. Anelli della c. a. - 11. Avvolgimenti dell'indotto del motore - 12. Spazzole dell'alternatore - 13. Bobine d'eccitazione dell'alternatore - 14. Carcassa e masse polari dell'alternatore - 15. Terminali del circuito di eccitazione dell'alternatore.

macchine sono completamente indipendenti, e non hanno fra di loro alcuna connessione elettrica. Il motore ruota a una determinata velocità, ed il generatore ha il numero di poli opportuno, perchè la frequenza della corrente prodotta sia quella voluta. La tensione dell'alternatore si può regolare coi dispositivi indicati in Fig. 120.

Alternatore mosso da un motore a corrente continua. — Quando si dispone di corrente continua a 110 volt, si può ricorrere ad

un altra combinazione di macchine. L'eccitatrice in questo caso non è necessaria, perchè la corrente per l'eccitazione dell'alternatore si può derivare direttamente dalla linea. L'alternatore riceve in questo caso il movimento da un motore in derivazione a corrente continua a 110 volt (Par. 97), col quale costituisce un complesso unico. Le due armature sono montate sullo stesso asse e le due carcasse sono riunite in un'unica struttura.

La Fig. 121 rappresenta un complessò di questo tipo, che in Fig. 122 compare smontato nelle sue diverse parti. L'alterna-

tore è del tipo illustrato in Fig. 103; ma, dovendo fornire una potenza più elevata di circa il 50 per cento, è più grande, ha un numero maggiore di poli, e ruota ad una velocità corrispondentemente più bassa, dando la stessa frequenza. Le due armature si vedono sul loro asse comune; gli anelli sono montati ad una estremità dell'asse ed il collettore all'altra.

La Fig. 123 rappresenta lo schema delle connessioni di questo complesso. Il motore a corrente continua è collegato alla linea per mezzo di un interruttore e del reostato d'avviamento. Il reostato di eccitazione, indicato nello schema in R_1 può anche mancare: esso serve a regolare la velocità del motore, per modo da realizzare nel circuito a corrente alternata determinate frequenze. Dalla linea a corrente continua è anche derivato il circuito di eccitazione dell'alternatore, la cui tensione è regolabile mediante il reostato R_2. In tal guisa la frequenza della corrente alternata si regola mediante il reostato da campo del motore, e la tensione mediante il reostato da campo del generatore.

Alternatore a ferro rotante mosso da un motore a corrente continua. — Fino a questo momento ci siamo occupati di alternatori ad armatura rotante. È del pari agevole produrre corrente alternata a 500 periodi per mezzo di alternatori a ferro rotante. La fig. 124 rappresenta un alternatore a ferro rotante mosso da un motore a corrente continua; il complesso converte la corrente continua in corrente alternata a 500 periodi. La tabella seguente riproduce la targhetta delle indicazioni del complesso:

Targhetta delle indicazioni del complesso rappresentato in fig. 124.

	Motore a c. c.	Alternatore
Volt	120	125
Ampere	7 3	5
Giri al minuto	2500	2500
Potenza	1 HP	0,625 kVA
Amp. dell'eccitazione in derivazione . . .	0.4	. .
Periodi al secondo	. .	500

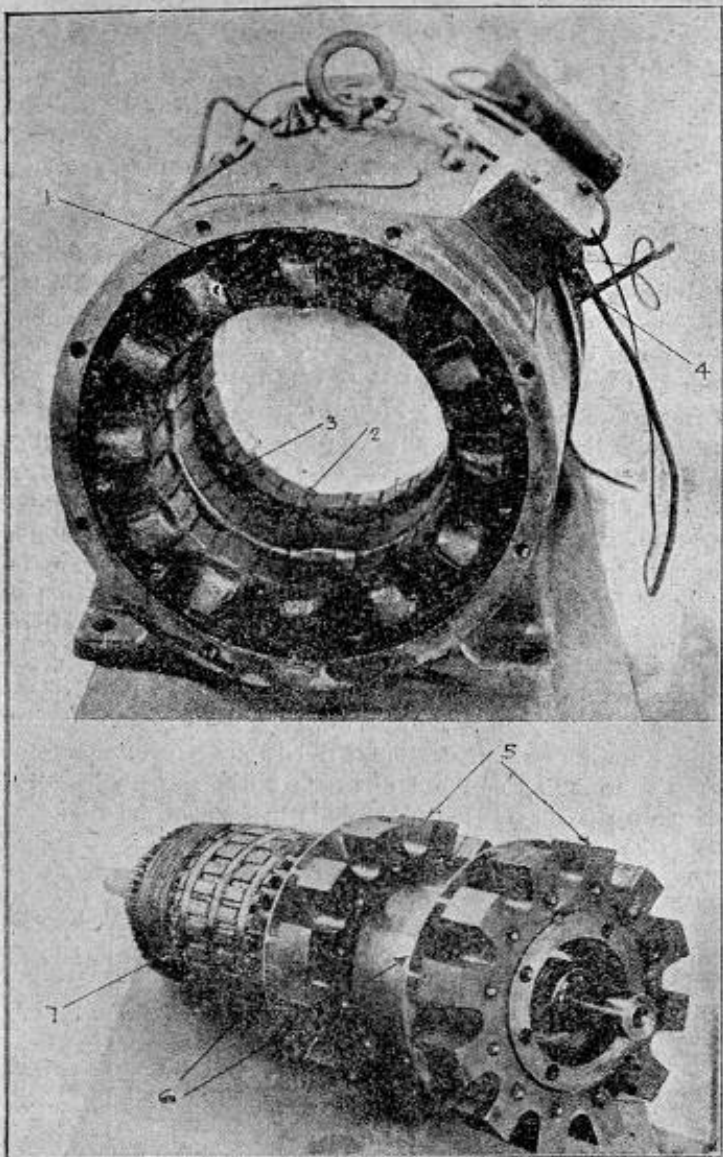



Fig. 124. — Alternatore a ferro rotante mosso da motore a c. c.

1. Avvolgimenti d'armatura dell'alternatore: nucleo anteriore. - 2. Avvolgimenti d'armatura dell'alternatore: nucleo posteriore. - 3. Avvolgimenti di campo dell'alternatore. - 4. Scatola dei morsetti. - 5. Ferro rotante. - 6. Dischi di bronzo. 7. Armatura del motore a c. c.

Anche in questo caso gli involucri delle due macchine si presentano in una struttura unica, nella quale però sono ricavate delle aperture, protette da defense, per impedire l'ingresso di materie estranee e nello stesso tempo consentire il libero passaggio all'aria di ventilazione. L'involucro dell'alternatore è di forma cilindrica, e alle sue due estremità porta verso l'interno due nuclei d'armatura, laminati, con denti, che si proiettano radialmente verso l'interno, e sui quali sono avvolte le bobine d'armatura; ciascun nucleo ha 12 bobine collegate in serie: tra i due nuclei d'armatura è l'avvolgimento di eccitazione, un unico grande avvolgimento, mantenuto anch'esso rigidamente a posto sulla superficie interna dell'involucro dell'alternatore. Questo avvolgimento produce un campo magnetico parallelo all'asse del complesso.

Gli organi fin qui descritti sono fissi. Il rotore è un solido cilindrico, che alle sue estremità ha due corone di 12 denti ciascuna, che si proiettano radialmente verso le bobine d'armatura, ed è magnetizzato dall'avvolgimento di eccitazione fisso, per modo che i denti di una delle corone assumono polarità nord, mentre quelli dell'altra corona assumono polarità sud. Il circuito magnetico è il seguente: il flusso dai denti della corona Nord del rotore attraversa l'intraferro, passa nei denti dello statore adiacente, attraversa da capo l'intraferro e va nei denti della corona Sud del rotore; di qui ritorna per il nucleo centrale del rotore alla corona Nord. Quando il rotore ruota, i suoi denti si presentano alternativamente davanti alle bobine dell'armatura e davanti agli intervalli, che esistono fra le bobine stesse. Di conseguenza il flusso negli avvolgimenti d'armatura è pulsativo, e la f. e. m. indotta è alternata.

Per quanto riguarda lo schema delle connessioni, la Fig. 123 si applica a questo complesso, così come a quello precedente, perchè in ambo i casi il motore in derivazione e il circuito di eccitazione dell'alternatore sono alimentati con corrente continua, e la corrente alternata è prodotta dall'armatura, non importa se essa sia mobile o fissa.

Alternatore a ferro rotante ad auto-eccitazione. — Un complesso

di tipo completamente nuovo è stato di recente studiato per motori a vento degli aereoplani. Lo schema semplificato di esso è indicato in Fig. 125, con l'aiuto della quale si possono seguire i circuiti elettrici e magnetici, e si può comprendere il

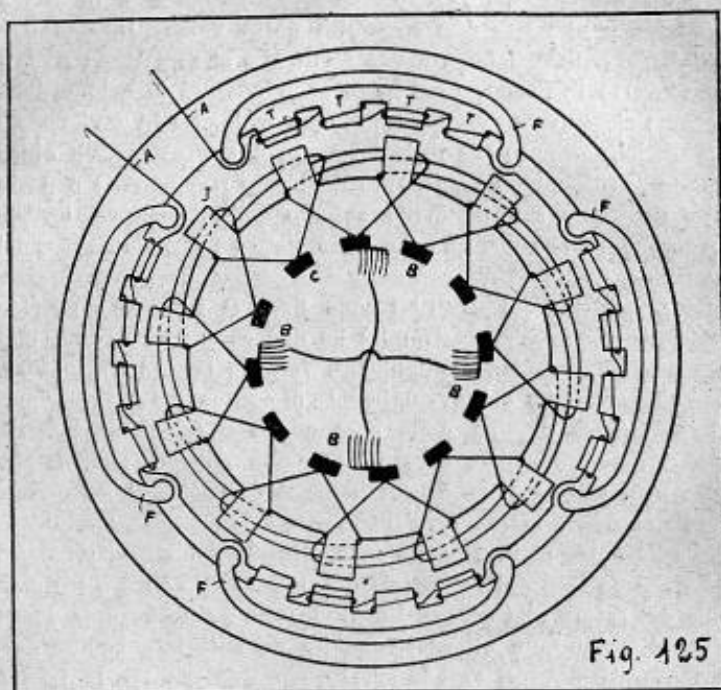



Fig. 125. — Alternatore a ferro rotante ad auto-eccitazione (4500 giri al minuto, 75 V, 5 A, 900 p. s.) A, terminali dell'avvolgimento a c. a.; B, spazzole per raccogliere la c. c. del collettore; C, lamelle del collettore; F, bobine di eccitazione a c. c.; J, denti del rotore; T, denti dello statore.

suo funzionamento. Supponiamo per il momento che il rotore non abbia avvolgimenti: siamo nel caso di un alternatore a ferro rotante. La statore ha 16 denti, sui quali sono disposte 16 bobine d'armatura: ogni dente col suo vano adiacente occupa

$\frac{1}{24}$ della circonferenza: i denti sono raggruppati 4 a 4 in modo da dare origine a quattro espansioni polari.

La corrente continua, che circola nelle bobine di eccitazione, a molte spire, magnetizza le 4 espansioni polari, per modo che due di esse assumono polarità Nord, e le altre due, opposte alle prime, polarità Sud. Le bobine di eccitazione sono alimentate in serie dalla sorgente di corrente continua, di cui si dirà fra poco, ma nello schema le connessioni sono omesse per evitare confusione di linee.

Quando il rotore gira, si ha nei denti dello statore un flusso pulsante e di conseguenza le bobine dello statore divengono sede di f. e. m. alternativa. Tutto quello, che accade in una bobina, avviene simultaneamente anche nelle altre 11; e il passaggio di un dente del rotore di fronte a due denti consecutivi dello statore, sui quali le spire sono avvolte in senso inverso, dà luogo ad un ciclo completo di f. e. m. Poichè il rotore fa 4500 giri al minuto e ha 12 denti, la corrente, che circola nell'armatura, ha una frequenza di 900 p. s.

Il rotore, oltre a produrre coi suoi denti le variazioni di riluttanza del circuito magnetico, da cui dipende la produzione di f. e. m. nello statore, funziona anche come indotto a corrente continua. E per questa ragione ha i denti bobinati. Come un'armatura di questo tipo divenga sede di c. c. si disse nel par. 87: conviene ora aggiungere che ogni bobina abbraccia 8 denti essendo 4 i poli, e che l'avvolgimento si compone di un gran numero di spire. Nello schema si sono semplificate per maggior chiarezza le connessioni, e le lamelle del collettore, rappresentate in figura, sono in numero molto inferiore al reale. Le connessioni omesse sono quelle fra le bobine di eccitazione e le 4 spazzole, di cui due sono positive e due negative. Nello schema inoltre si sono disegnate le spazzole nell'interno del collettore; effettivamente esse invece sono esterne ad esso. Gli avvolgimenti del rotore sono dunque la sorgente di corrente continua per il circuito di eccitazione.

Possiamo quindi conchiudere che il rotore serve a due scopi completamente distinti:

1° Funziona come ferro rotante per l'alternatore, che ha bobine di eccitazione e avvolgimenti d'armatura fissi.

2° Funziona da indotto a c. c., occupando in questa macchina il posto, che nelle altre è tenuto dalla dinamo eccitatrice.

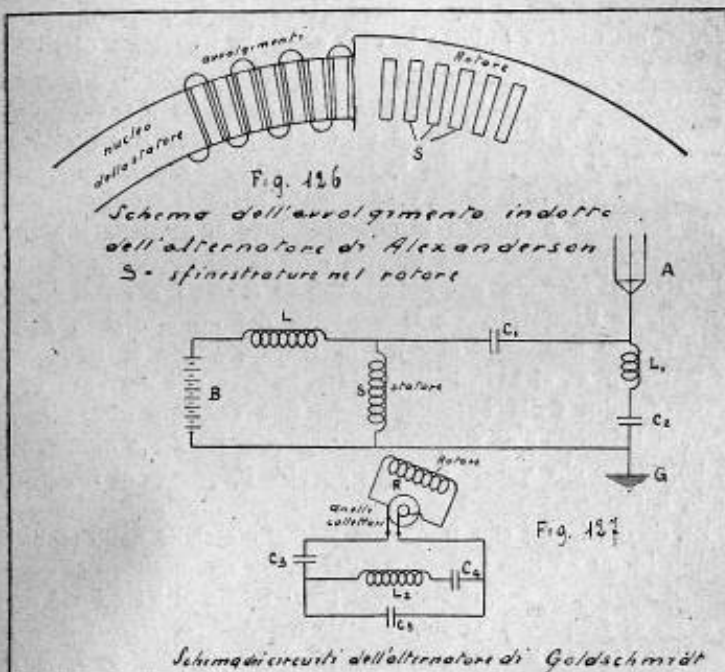
95. **Generatori di corrente a frequenza radiotelegrafica.** *Alternatore ad alta frequenza Alexanderson.* — Frequenze dell'ordine di 100.000 periodi al secondo si possono realizzare con alternatori del tipo a ferro rotante di speciali caratteristiche. Per ottenere frequenze di quest'ordine, è necessario che in un secondo, davanti a ciascuna spira dello statore, passino 100.000 denti del rotore. Una frequenza così elevata si può conseguire, solo dando al rotore un gran numero di denti, e facendolo girare ad una velocità assai più elevata di quelle abituali. In una macchina di questo tipo da 3 kW, il rotore ha 300 denti, e fa 20.000 giri al minuto, con che si realizza la frequenza richiesta di 100.000 p. s. Se il rotore ha 30 cm di diametro, per ciascun dente e scanalatura insieme non si hanno disponibili che 0,3 cm; e con tutto ciò esso deve ruotare a una velocità di circa 19 km al minuto. I conduttori dell'armatura sono disposti a zigzag in piccole scanalature della faccia piana del nucleo, perpendicolare all'asse di rotazione.

Il rotore consta di un disco d'acciaio di spessore decrescente dal mozzo verso la corona, profilato in modo da offrire la massima resistenza. Invece di avere una corona di denti periferici, il disco presenta una serie di piccole sfinestrature, che, per diminuire la resistenza dell'aria, sono tappate con materiale diamagnetico, come bronzo fosforoso; i denti risultano quindi costituiti dal ferro, compreso fra le successive sfinestrature. Queste macchine sono caratterizzate da particolari costruttivi speciali, tenuto conto del loro piccolissimo intraferro, e dell'elevatissima velocità del rotore. La costruzione di questi alternatori ha implicato la soluzione di delicatissimi problemi di ingegneria, e richiede l'opera di operai di precisione. Essi non sono tuttavia indicati per stazioni mobili, e per tale ragione non se ne dà qui una descrizione dettagliata.

Alternatore di Goldschmidt. — I generatori di correnti ad alta

frequenza di alcune stazioni r. t. tedesche di elevata potenza si basano su di un principio, di cui non si è ancora fatto cenno, parlando delle macchine elettriche. Si utilizza in essi la produzione per risonanza di correnti intense, nei circuiti del rotore e dello statore di una unica macchina; e si ottiene la moltiplicazione della frequenza per effetto delle reazioni reciproche tra gli avvolgimenti dello statore e quelli del rotore.

Fig. 126 Schema dell'avvolgimento indotto dell'alternatore di Alexanderson S - sfinestrature nel rotore

Fig. 127 Schema dei circuiti dell'alternatore di Goldschmidt

Senza pretendere di darne la dimostrazione, accettiamo come fatto sperimentale, che, se in un rotore in moto si inviano correnti alternate, aventi la frequenza di sincronismo (ossia la frequenza, che si genererebbe nel rotore, qualora la macchina funzionasse da generatore), si manifestano nell' intensità del

campo magnetico della macchina delle pulsazioni, che hanno una frequenza doppia di quella delle correnti alternate, che circolano nel rotore.

I circuiti (in forma schematica) sono indicati in Fig. 127. Immaginiamo che S sia l'avvolgimento dello statore, alimentato da una sorgente di corrente continua, come, ad esempio una batteria di accumulatori B. Nel campo magnetico prodotto dallo statore giri un rotore rappresentato dall'avvolgimento R: e supponiamo che la sua velocità di rotazione sia tale, che la f. e. m. alternativa indotta in esso abbia la frequenza di 10.000 p. s. La corrente indotta nel rotore, per mezzo di due anelli e relative spazzole si chiude sul circuito C_3 L_2 C_4; nel quale l'induttanza L_2 è regolata in modo, da mettere il circuito in condizioni di risonanza per la frequenza della f. e. m. applicata. Nel rotore circoleranno di conseguenza correnti intense.

In relazione a quanto precedentemente si è detto, il flusso magnetico della macchina diverrà sede di pulsazioni, in ragione di 20.000 al secondo, che indurranno in S una f. e m. di 20.000 periodi. Se l'induttanza e la capacità del circuito S C_1 L_1 C_2 sono tali da mettere il circuito in risonanza per la frequenza di 20.000 p. s., si avrà nello statore, insieme alla corrente continua fornita dalla batteria, anche una corrente alternata di elevata intensità e di frequenza 20.000 p. s. La forte induttanza L impedisce che queste correnti ad alta frequenza si rovescino sulla batteria.

Le correnti, che con frequenza 20.000 circolano nello statore, danno luogo ad una pulsazione del flusso magnetico, nel quale gira il rotore, di frequenza 20.000; nel rotore si ha quindi una f. e. m. di frequenza tripla, nel nostro caso di 30.000 p. s. Il condensatore C_5 ha una capacità tale che il circuito R C_3 C_5 è in risonanza per questa frequenza, e le correnti a 30000 periodi del rotore, per effetto della rotazione di questo, producono nel flusso magnetico una pulsazione, che, rispetto agli avvolgimenti dello statore, ha frequenza 40000. Sullo statore avremo quindi una f. e. m. di 40000 periodi. Ricordando che l'antenna A e la terra G costituiscono un condensatore (par. 137), il quale

compie rispetto al circuito dello statore la stessa funzione, che il condensatore C_2 ha rispetto al circuito del rotore, potremo sintonizzare il circuito $SC_1\ AG$ per la frequenza finale.

In tal modo, proporzionando opportunamente le induttanze e le capacità dei circuiti, è possibile realizzare una frequenza quadrupla di quella, che la macchina produrrebbe in relazione alla velocità del rotore e al numero dei poli dello statore.

Tutto questo nell'ipotesi di una macchina bipolare, che però richiederebbe una velocità assai elevata. Invece i grandi alternatori delle stazioni tedesche per servizio transatlantico hanno 360 poli e sono mossi da motori da 250 HP ad una velocità di 4000 giri al minuto. La frequenza fondamentale è 12.000 p. s. che, venendo quadruplicata come si è detto, diviene di 48.000 p. s. nell'antenna. Perchè il funzionamento di queste macchine possa essere soddisfacente, la loro costruzione deve essere tra le più accurate.

E. Motori.

96. **Impiego dei motori a corrente continua ed a corrente alternata.** — Si è già osservato che un motore elettrico ha una struttura quasi identica a quella di un generatore, ma la sua funzione è inversa; esso converte energia elettrica in energia meccanica. Un motore, da inserirsi in un circuito, deve essere adatto sia al tipo di corrente, che deve alimentarlo (corrente alternata o continua), sia alla tensione, che si ha disponibile. Le tensioni comunemente usate oscillano fra 110 e 120 *V*, fra 220 e 240 *V*, fra 500 e 550 *V*; in alcuni circuiti a c. c. si impiega anche la tensione di 440 *V*. I motori a corrente alternata, come i generatori, possono essere monofasi, bifasi, trifasi etc.; ed i motori a corrente continua possono avere eccitazione in serie in derivazione o compound.

97. **Motore in derivazione a corrente continua.** — Se una dinamo in derivazione si impiega per caricare una batteria di accumulatori di notevole capacità, e a un certo momento si disaccoppia dalla dinamo il motore che l'azionava, la dinamo continua a ruotare; un amperometro inserito in circuito indica però che

la corrente si è invertita. La batteria si scarica ed il generatore funziona da motore. E infatti, quando una corrente circola in un conduttore immerso in un campo magnetico, fra corrente e conduttore si sviluppa una forza, che tende a fare spostare il conduttore attraverso il campo (par. 43). La regola della mano sinistra indica la direzione, secondo la quale il conduttore si muove.

Consideriamo la spira unica della Fig. 128 mobile fra i poli *N* e *S* di un elettro-magnete. Se i conduttori + e — sono collegati a una sorgente di corrente continua, il ferro si magnetizza. Nello stesso tempo la corrente, che circola nella spira secondo la direzione delle frecce, dà luogo ad una forza diretta verso il davanti del foglio nel filo prossimo al polo *N* e ad una forza diretta verso il di dietro del foglio nel conduttore prossimo al polo *S*: la spira ruota. La funzione del collettore è di rendere continuo il movimento di rotazione, stabilendo gli opportuni collegamenti dei conduttori man mano che si presentano.

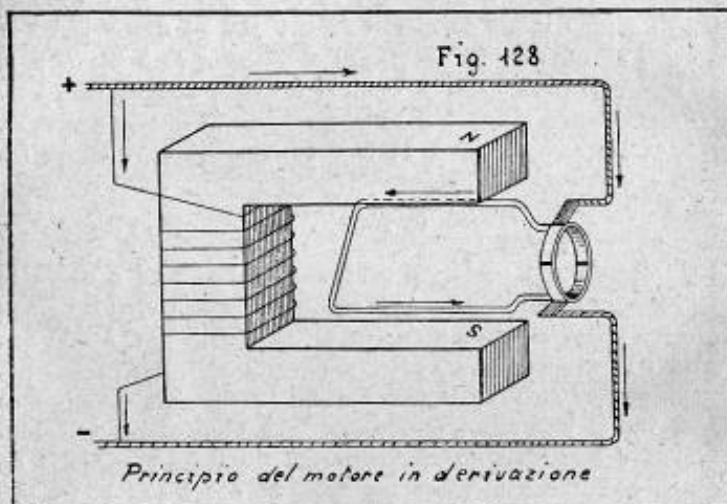



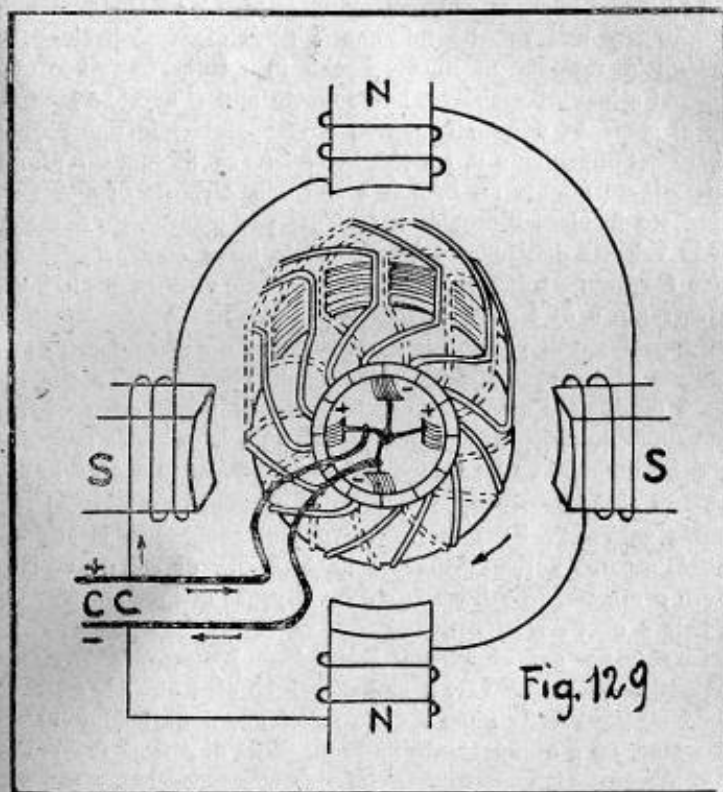
Fig. 128

Principio del motore in derivazione

Con un ragionamento molto simile a quello fatto pei generatori a corrente continua, noi possiamo passare da questo caso

semplice a quello di un motore con avvolgimento a tamburo a quattro poli rappresentato in Fig. 129. La direzione della corrente ed il senso di rotazione sono indicate dalle frecce.

Velocità limite. — Ci si aspetterebbe che un motore in deri-

Fig. 129

vazione accelerasse indefinitamente, ma in pratica esso raggiunge presto una determinata velocità, alla quale continua poi a girare senza accelerare ulteriormente. Non appena l'indotto comincia a ruotare, in esso si genera una f. e. m., il senso della

quale è dato dalla regola della mano destra, nè più nè meno di quanto avviene in un generatore.

Questa f. e. m. ha senso opposto a quello della corrente, indicato dalle frecce, e dicesi per tale ragione « forza controelettromotrice ». Quanto più velocemente l'indotto gira, tanto maggiore diviene la forza controelettromotrice. L'indotto non può raggiungere una velocità tale che la forza controelettromotrice eguagli la tensione di linea, perchè in questa ipotesi le due tensioni si equilibrerebbero, nell'indotto non si avrebbe passaggio di corrente, e quindi non si svilupperebbe alcuna coppia motrice. Supponiamo p. es. che la resistenza di indotto di un determinato motore sia 0,25 Ω, e che una corrente di 4 A nell'indotto fornisca l'impulso sufficiente per mantenerlo in moto. Se la velocità dell'indotto è tale che la forza controelettromotrice raggiunge i 109 volt con una tensione di linea di 110 volt, la corrente è di 4 ampere. [1]

Supponiamo di poi che il motore azioni un macchinario, che richieda una coppia motrice cinque volte maggiore. La sua velocità diminuirà: quando sarà diminuita di tanto da produrre una forza controelettromotrice di 105 volt, la corrente raggiungerà 20 ampere. [2] Se tale corrente è sufficiente a dare la necessaria coppia motrice, la velocità si manterrà costante al suo nuovo valore. Così il motore, variando di pochissimo la sua velocità, assorbe automaticamente un'intensità di corrente maggiore o minore, in misura tale da sviluppare una coppia motrice eguale a quella resistente.

La corrente nel circuito di eccitazione ha sempre la stessa intensità, comunque vari il carico, perchè essa dipende soltanto dalla tensione della linea e dalla resistenza delle bobine di eccitazione, ed è indipendente dalla intensità di corrente assorbita dall'indotto.

---

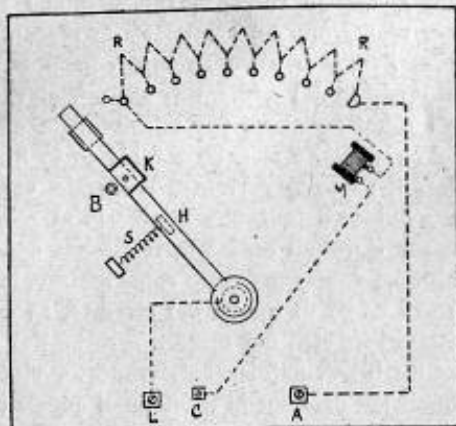
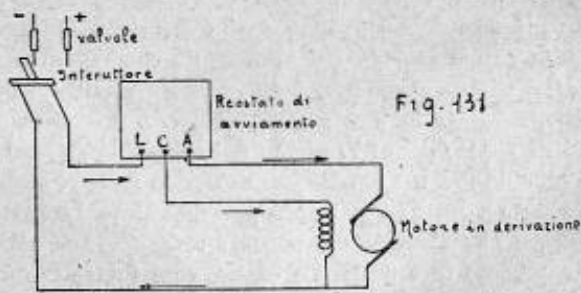
[1] $I=\frac{E}{R}$ $E=110-109=1$ *volt*, $R=0,25$ *ohm*, $I=\frac{1}{0,25}=4$ *ampere*

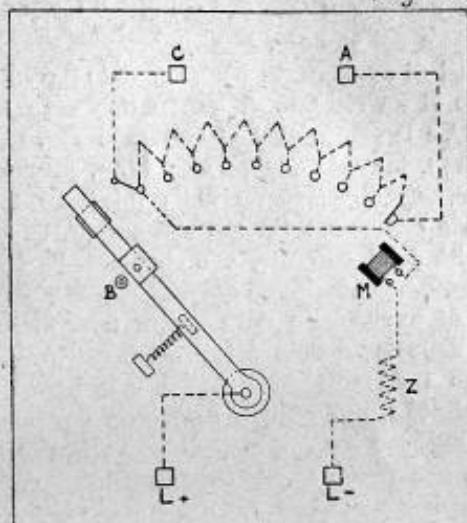
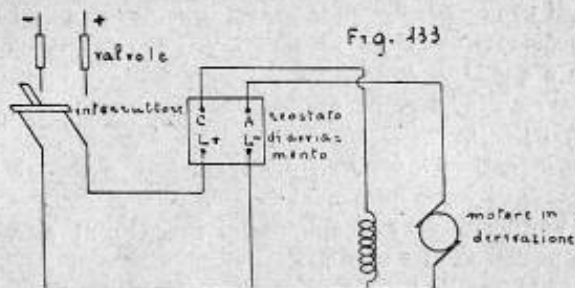
[2] $E=110-105=5$ *volt*, $R=0,25$ *ohm*, $I=\frac{5}{0,25}=20$ *ampere*

Confronto fra il funzionamento di un generatore e quello di un motore. — Quando l'indotto di una macchina ruota in un campo magnetico, funzioni essa da generatore o motore, diviene sede di f. e. m.: in ambo i casi, le correnti, che circolano nei conduttori dell'indotto, reagiscono col campo. Se la macchina funziona da generatore, l'indotto deve ruotare con una velocità tale, che la f. e. m. prodotta dal generatore sia più elevata della tensione, esistente ai suoi terminali per effetto delle altre sorgenti di f. e. m. del circuito. La macchina fornisce in quest'ipotesi corrente al circuito; questa corrente, reagendo col campo, tende a far ruotare l'indotto in senso contrario al movimento di rotazione impresso; e quindi cresce la resistenza dell'indotto al moto. Se la macchina funziona invece come motore, la f. e. m. ch'essa sviluppa è più bassa di quella del circuito, in cui è inserita: di conseguenza l'indotto del motore assorbe dal circuito corrente, che passa negli avvolgimenti dell'indotto, vincendo la forza controelettromotrice di esso: la reazione di questa corrente col campo determina la rotazione dell'indotto.

Resistenza di avviamento. — La resistenza dell'indotto di un motore è piccola: è la f. e. m. del motore, che impedisce alla corrente di raggiungere intensità eccessive. All'atto però dell'inserzione di un motore sulla linea, esso è fermo, e quindi non produce forza controelettromotrice. Per moderare l'intensità della corrente, il modo più semplice è di disporre in serie con l'indotto una resistenza, che si esclude poi man mano che l'indotto aumenta di velocità. Questa resistenza è in generale costituita da fili o da griglie, montate in una scatola di ferro, provvista di fori per l'aria di ventilazione; l'insieme del dispositivo dicesi « reostato di avviamento » o « reostato di messa in moto ». Esso può avere varie forme. La Fig. 130 ne rappresenta una. Le parti disegnate con linee piene sono montate sopra una superficie piana isolante, comunemente di ardesia. Le connessioni interne sono disegnate con linee tratteggiate. La Fig. 131 indica il modo di inserire la resistenza di avviamento fra il motore e le valvole dell'interruttore principale.

Quando la resistenza è tutta esclusa, la piastrina K aderisce

contro l'elettromagnete *M*, che trattiene la maniglia. Se l'inter-

Reostato di avviamento per motore in derivazione.
L - linea
C - eccitazione in derivazione
A - armatura

Connessioni fra un motore in derivazione e reostato di avviamento.

ruttore è aperto (Fig. 131), o la corrente di linea cessa per una

Reostato di avviamento con due serrafili di linea
L+ L- serrafili di linea C - eccitazione
A - armatura

Connessioni fra un motore in derivazione e un reostato di avviamento con due serrafili di linea

ragione qualunque, il magnete non trattiene più la piastrina *K*,

ed una molla S (Fig. 130) tira indietro la maniglia, fino a farla venire in potere del dente di arresto B, proteggendo in questo modo il motore dai guasti, che in esso si produrrebbero, se la corrente ritornasse nel circuito.

Alcuni reostati di avviamento hanno quattro serrafili. Le connessioni interne di un reostato di questo tipo sono rappresentate in Fig. 132, e le connessioni al motore in Fig. 133. Occorre un quarto serrafili, indicato in figura con $L-$, perchè l'elettromagnete è derivato direttamente dalla linea. L'elevata resistenza Z in serie con esso, e interna alla scatola, ha lo scopo di ridurre l'intensità della corrente, che circola nella bobina dell'elettromagnete.

Un reostato di avviamento deve essere inserito sulla linea tenendo conto delle indicazioni dei serrafili. Si trovano ordinariamente presso i serrafili delle lettere o le parole « linea » « campo », « indotto », non sempre però nelle posizioni relative indicate dalle Fig. 130 e 132.

I conduttori, che vanno al motore, fanno generalmente capo ad una piastra, fissata all'esterno del motore, sulla quale sono fissati i serrafili. Nel fare le connessioni occorre assolutamente evitare di confondere i serrafili fra loro: la fig. 134 nel suo schema di dritta (dov'è la dicitura « errato ») rappresenta un caso di connessione errata, poichè il serrafili A del reostato è erroneamente collegato al punto comune fra il circuito d'indotto e quello di eccitazione del motore; e la « linea » fa capo soltanto all'indotto. Le connessioni errate sono fonte di gravi inconvenienti.

Avviamento ed arresto. — Le operazioni necessarie per l'avviamento di un motore sono:

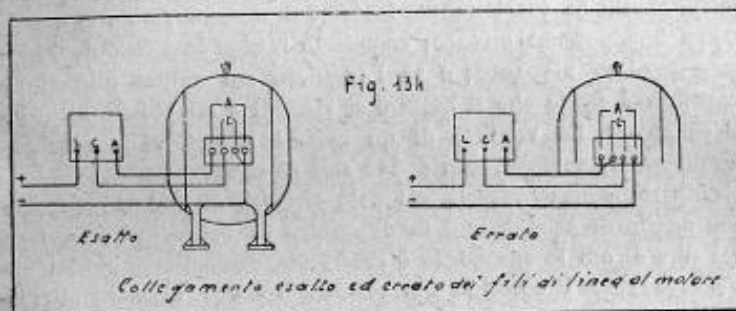
1. Verificare che la maniglia del reostato di avviamento sia nella posizione di « riposo ».
2. Chiudere l'interruttore di linea (Fig. 131, 133).
3. Spostare in avanti la maniglia fino al primo contatto.

L'indotto comincerà a ruotare. Se ciò non accade, aprire subito l'interruttore, perchè vi è qualche cosa di anormale nei circuiti o nel motore; probabilmente una connessione errata, un

cattivo contatto, una valvola fusa, un forte sovraccarico, uno spostamento delle spazzole, etc.

4. Man mano che l'indotto guadagna in velocità, far scorrere la maniglia sui contatti, una tacca alla volta. Muovere la maniglia lentamente, se il carico è notevole, impiegando, se necessario, anche 30 secondi. Con carico debole e motori di piccole dimensioni, possono bastare pochi secondi.

Per arrestare un motore: aprire l'interruttore principale. La maniglia di avviamento in pochi secondi si porterà nella posizione di riposo: se ciò non accade, spostarla indietro a mano e verificare se i contatti sono sporchi. Per rimediare a questo in-

Collegamento esatto ed errato dei fili di linea al motore

conveniente, è opportuno strofinare le tacche di contatto, e spalmarle con uno strato di vasellina.

Spesso i motori molto piccoli, di potenza non superiore a una frazione di cavallo vapore, si inseriscono direttamente sulla linea, senza reostato di avviamento, colla semplice chiusura di un interruttore.

Inversione di marcia. — Nello schema in Fig. 134 i due conduttori di linea sono marcati + e —. Effettivamente non importa in pratica che il conduttore marcato + sia invece — e viceversa: il motore ruota in ambo i casi in un determinato senso. Si può invertire la marcia, scambiando fra di loro i due conduttori, che fanno capo ai serrafili *C*, con che si inverte il senso dell'eccitazione. Si deve curare che le spazzole siano sul collet-

tore nella loro esatta posizione, e vi scorrano dolcemente, come è già stato indicato nel par. 106.

Regolazione della velocità. — Per le ragioni dette, a proposito della velocità limite, d'ordinario un motore in derivazione ruota un po' più adagio, quando è sotto carico, di quando marcia a vuoto. Nella maggior parte dei motori in derivazione, la variazione di velocità, che il motore subisce dalla marcia a vuoto a quella a pieno carico è dell'ordine del 5 % o meno. Perciò i motori in derivazione si dicono spesso motori « a velocità costante ».

Questo, nell'ipotesi che la tensione applicata al motore sia costante. Se la tensione diminuisce, il motore rallenta, e sviluppa una potenza minore; crescendo invece la tensione, il motore accelera alquanto; e se l'aumento sul valore normale è sensibile, è facile che il motore si riscaldi e si abbiano scintille al collettore. La velocità di un motore si può variare in parecchi modi; accenneremo a due soli di essi.

Una resistenza in serie col solo circuito di indotto (e non con quello di eccitazione) fa diminuire la velocità. La sezione del filo, di cui la resistenza è costituita, deve essere sufficiente a portare tutta la corrente d'armatura senza che la resistenza si riscaldi troppo. A tale scopo non può essere usato il reostato di avviamento, perchè di sezione, che non si presta ad un servizio continuo: esso infatti si riscalderebbe immediatamente. Qualche volta tuttavia i reostati di avviamento hanno una sezione maggiore, per cui possono rimanere a lungo inseriti in circuito, e in questo caso hanno generalmente l'indicazione « reostato per la regolazione della velocità, per servizio continuo ».

Questo metodo di regolazione della velocità presenta l'inconveniente di un inutile consumo di potenza; ed inoltre, se il carico varia, la velocità del motore varia anch'essa. Ha però il vantaggio di una certa semplicità.

Una resistenza in serie coll'avvolgimento di eccitazione dà luogo, in un motore in derivazione, ad un aumento di velocità. A prima vista questa potrebbe sembrare una contraddizione. Effettivamente invece la diminuzione della corrente di eccita-

zione fa indebolire il campo; i conduttori debbono muoversi più rapidamente per produrre all'incirca la stessa forza controelettromotrice; e poichè questa forza controelettromotrice è sempre di poco inferiore alla tensione applicata, la velocità aumenta.

L'inconveniente di questo metodo di regolazione della velocità consiste nel fatto che, se la resistenza inserita nel circuito di eccitazione è troppo forte, il motore accelera notevolmente e l'indotto può sfasciarsi per forza centrifuga. C'è anche il pericolo di danneggiare il collettore per effetto delle scintille. Non è in generale prudente portare un motore ad una velocità superiore del 10 o 15 per cento a quella indicata nella targhetta; a meno di non essere veramente sicuri che non ne seguirà alcun danno.

98. **Motore a corrente continua in serie.** — Gli avvolgimenti di eccitazione di un motore possono essere di filo grosso e collegati in serie coll'indotto: per modo che passi sia nell'indotto che negli avvolgimenti di eccitazione la stessa corrente. In questo caso il motore dicesi « in serie ». Un motore in serie differisce, per quanto riguarda lo schema delle connessioni, da un motore in derivazione nè più nè meno di quanto differiscano fra loro i tipi corrispondenti di dinamo (Fig. 117). Il funzionamento dei motori in serie è diverso da quello dei motori in derivazione per due ragioni. Essi non hanno velocità costante, ma con forti carichi tendono a rallentare; inoltre alle velocità minime sviluppano notevoli coppie motrici. Trovano perciò buon impiego nelle vetture elettriche, per l'avviamento dei motori a benzina delle automobili, e in servizi analoghi, nei quali occorre all'avviamento una forte coppia motrice.

Supponiamo ad es. che in un certo istante nell'indotto e nell'eccitazione circoli una corrente di 5 ampere: e facciamo crescere il carico fino a che la corrente raggiunga i 10 ampere. Accadono due fenomeni. In primo luogo, se la magnetizzazione dei poli del motore rimanesse invariata, l'aver raddoppiata la corrente d'indotto darebbe origine a una coppia motrice doppia. Ma la magnetizzazione dei poli non rimane costante. Quando la corrente si raddoppia, la magnetizzazione cresce: perchè la

corrente non si è solo raddoppiata nell'indotto, ma anche nel circuito di eccitazione. Cosicchè l'effetto combinato dell'aumento di corrente nell'indotto e dell'aumento di magnetizzazione dei poli fa salire la coppia motrice ad un valore più che doppio del precedente. In secondo luogo, il campo più intenso, dovuto alla maggiore magnetizzazione, farebbe automaticamente crescere la forza controelettromotrice, se la velocità del motore rimanesse invariata. Ma ciò è impossibile, perchè la forza controelettromotrice deve essere sempre un po' inferiore alla tensione di linea, altrimenti non circolerebbe nell'indotto la corrente necessaria a mantenere il motore in moto; di conseguenza il motore andrebbe rallentando.

Da quanto sopra si deduce che all'avviamento la coppia motrice di un motore in serie è notevole, perchè debole la velocità e intensa la corrente d'indotto. Quanto minore è il carico, tanto maggiore è la velocità. Non è possibile usare con un motore in serie di potenza anche moderata la trasmissione a cinghia. Se infatti la cinghia dovesse sfilarsi, il motore accelererebbe fino a sfasciarsi. Perciò i motori in serie si accoppiano direttamente o mediante ingranaggi ai macchinari, che essi devono azionare. Un motore in derivazione, al contrario, in caso analogo non accelererebbe, per cui la trasmissione a cinghia darebbe, con questo tipo di motore, tutte le garanzie di sicurezza.

Regolazione della velocità. — L'unico modo di regolazione della velocità di un motore in serie, cui convenga accennare, è quello mediante reostato in serie coll'indotto e col circuito di eccitazione. Tutti i motori, tranne i piccolissimi, hanno già un reostato di avviamento: se di sezione sufficiente, si potrà lasciare inserito nel circuito, per abbassare la velocità del motore. Si è già detto che questo metodo è poco economico, per la perdita di potenza, che si ha nel reostato sotto forma di calore.

99. **Altri motori a corrente continua.** — Accanto alle dinamo compound si hanno (Fig. 117) anche motori compound, i quali si adoperano per scopi particolari: siccome però un radiotelegrafista difficilmente si troverà ad usarli, se ne omette la trattazione.

100. **Motori per corrente continua e alternata.** — Se nella

linea di alimentazione di un motore in serie la corrente si inverte, non cambia il senso della rotazione dell'indotto. Se la corrente si invertisse soltanto nel circuito di eccitazione, l'indotto girerebbe in senso opposto; ma poichè si inverte anche nell'indotto, la doppia inversione non ha alcun effetto sul senso di rotazione del motore. Questo accadrebbe anche se le inversioni fossero molto rapide, se cioè la corrente di alimentazione fosse una corrente alternata. Di conseguenza lo stesso motore potrebbe alimentarsi con corrente alternata e con corrente continua. Una macchina di questo tipo ha in pratica caratteristiche costruttive speciali: così ad es. ha i nuclei polari laminati invece che di un sol pezzo.

101. **Motori a induzione.** — Tutte le volte che una bobina è percorsa da una corrente, si ha, nell'interno e all'esterno della bobina stessa, un campo magnetico. Supponiamo di disporre un certo numero di bobine, in modo da costituire (Fig. 101) uno statore bifase o trifase, e di alimentare ciascuna serie di bobine con una delle fasi del circuito di alimentazione, bifase o trifase; constateremo l'importante fenomeno, che le correnti alternate, circolando nelle bobine, danno origine nell'interno dello statore ad un campo magnetico, che ruota rapidamente con velocità costante. Sia le bobine che il nucleo di ferro dello statore restano ferme: quello che ruota è il campo. Se le alternative della corrente sono lente, e nello spazio rimasto libero nell'interno dello statore poniamo un ago magnetico, lo vedremo ruotare, come se fosse trascinato da un magnete immaginario, i cui poli strisciassero sulla superficie interna dello statore stesso.

Poniamo nell'interno dello statore, invece dell'ago, un nucleo di ferro, girevole intorno ad un asse, e sul quale siano disposte in maniera conveniente molte spire di filo. Il campo magnetico rotante taglierà i conduttori di questo rotore mobile; i conduttori diverranno sede di f. e. m. e quindi di corrente. Per effetto delle reazioni fra queste correnti e il campo magnetico rotante, il rotore comincerà a girare, raggiungendo man mano una velocità prossima a quella del campo magnetico rotante, e che è funzione della frequenza delle correnti alternate nello

statore, e del modo, con cui l'avvolgimento dello statore è fatto.

La macchina ora descritta è un motore « a induzione ». Essa come un alternatore, si compone di uno statore (parte fissa) e di un rotore (parte mobile). Non si è ancora fatto cenno di eventuali connessioni fra il rotore e un circuito elettrico esterno al motore. I motori a induzione più semplici non hanno tali connessioni: il rotore è magneticamente tenuto in moto ad una velocità praticamente uniforme, e mediante una trasmissione a cinghia può azionare un macchinario qualunque.

I motori a induzione di media ed elevata potenza hanno invece il rotore collegato, mediante un sistema di spazzole ed anelli di scorrimento, ad un circuito esterno, che però non è un circuito di alimentazione, bensì un complesso di resistenze, mediante le quali è possibile regolare la velocità del motore.

Si impiegano spesso nella tecnologia dei motori a induzione i termini « rotore a gabbia di scoiattolo » e « rotore con avvolgimenti ». Il primo si riferisce a quei motori, nei quali il rotore è costituito da semplici sbarre metalliche, senza connessione alcuna con resistenze esterne: il secondo riguarda invece quei rotori, che ricordano le armature degli alternatori, e nei quali, in serie colle varie fasi, possono, mediante spazzole ed anelli di scorrimento, essere inserite resistenze opportune.

Se in un motore a induzione trifase interrompiamo una delle tre fasi dello statore, il rotore continua a girare. Poichè nei due conduttori, che restano, non può circolare che una corrente monofase, se ne deduce che un motore a induzione può anche essere monofase. Un motore monofase a induzione richiede però particolari dispositivi di avviamento.

I motori a corrente alternata, come quelli a corrente continua, devono essere alimentati ad una tensione poco diversa da quella di progetto, ed inoltre a frequenza opportuna. Hanno velocità ben determinate, che, dalla marcia a vuoto a quella in pieno carico, oscillano fra limiti assai ristretti. Tali velocità per piccoli motori alimentati con corrente a frequenza 60 p. s. è ordinariamente sui 1800, 1200 e 900 giri al minuto.

Avviamento. — I piccoli motori a induzione si avviano in ma-

niera assai semplice, inserendoli nel circuito di alimentazione per mezzo di un interruttore, che sarà bipolare (due coltelli, per due conduttori) se i motori sono monofasi, tripolare per motori trifasi, e tetrapolare per motori bifasi. Abbiamo visto come nei motori polifasi (bifasi o trifasi) l'avviamento avvenga per effetto del campo magnetico rotante; diverso è il comportamento dei motori a induzione monofasi, i quali non riescono a mettersi in moto da sè, se non muniti di particolari dispositivi, ma che, una volta avviati, continuano automaticamente a rotare. Uno dei sistemi per avviare un motore a induzione monofase potrebbe essere l'avviamento a mano: ma questo metodo è in generale poco pratico. Si ricorre invece talvolta ai « variatori di fase ». Il concetto di questi dispositivi è il seguente. Supponiamo che ~~ciascuno dei conduttori~~ la linea alimenti in parallelo due circuiti, i quali abbiano induttanza o capacità differente: le correnti nei due circuiti si sfaseranno di un angolo diverso rispetto alla tensione: e si potranno proporzionare l'induttanza e la capacità dei due circuiti in modo da avere una differenza di fase di 90°. Lo statore abbia oltre all'avvolgimento normale anche un secondo avvolgimento di avviamento: e i due avvolgimenti siano collegati in serie coi due circuiti del variatore di fase. Il motore si avvierà come un motore bifase: e non appena esso avrà raggiunto la velocità normale, l'avvolgimento di avviamento potrà essere escluso, o a mano, manovrando un commutatore a due vie, o automaticamente, da un interruttore a forza centrifuga azionato dal motore.

Un altro sistema di avviamento sfrutta il principio dei « motori a repulsione ». In questa ipotesi il rotore è munito di collettore e spazzole, come l'indotto di un motore a corrente continua. Lo statore è sulla linea di alimentazione; il rotore è in corto circuito, essendo le spazzole collegate fra di loro. Quando la corrente circola nello statore, il rotore diviene sede di correnti indotte, e comincia a ruotare. Quando il rotore ha raggiunto la velocità normale, un dispositivo a forza centrifuga cortocircuita il collettore, e la macchina diventa un ordinario

motore a induzione. Nello stesso tempo le spazzole si sollevano automaticamente in modo da ridurre l'attrito.

I motori trifasi di maggior potenza si alimentano all'avviamento ad una tensione inferiore a quella normale, inserendo temporaneamente nel circuito di alimentazione un trasformatore.

F. Complessi motori-generatori e dinamotori.

102. Complessi motori-generatori. — Quando si ha disponibile corrente elettrica di forma diversa da quella occorrente, si può utilizzare, ricorrendo all'uso di trasformatori statici (descritti al par. 62), raddrizzatori, gruppi motori-generatori o dinamotori, a seconda dei casi. I primi, lasciando invariata la frequenza di una corrente alternata, ne elevano o riducono la tensione. I raddrizzatori convertono la corrente alternata in corrente continua pulsante. I complessi motori-generatori e i dinamotori trasformano la corrente alternata di una data frequenza in corrente alternata di una frequenza diversa, o in corrente continua, e viceversa; oppure elevano o riducono la tensione di una sorgente di corrente continua.

Un complesso motore-generatore si compone di un motore e di un generatore, montati su di un basamento comune, cogli assi accoppiati e atti a marciare ad una stessa velocità.

Motori e generatori sono già stati separatamente descritti: il loro funzionamento in un unico complesso non richiede ulteriori spiegazioni. Ciascuna delle due macchine costituisce un tutto a sè, indipendente dall'altra. Complessi di questo tipo si sono già esaminati nel par. 94 (Fig. 121, 122, 124). Nella pratica radiotelegrafica tali complessi trovano largo impiego per la carica di batterie di accumulatori e per l'alimentazione degli apparati a scintilla e ad arco.

Carica delle batterie di accumulatori. — Per caricare una batteria di accumulatori, si utilizza un complesso motore-dinamo, tutte le volte che la corrente disponibile o è alternata o, pur essendo continua, non è alla tensione conveniente.

Qualora in questo secondo caso si disponga di una tensione troppo elevata, non è opportuno l'impiego di un reostato per abbassarla: in quantochè nel reostato si consuma potenza. È invece preferibile disporre parecchie batterie a bassa tensione in serie, ricorrendo al reostato solo per le piccole regolazioni della tensione.

Le dinamo, che generalmente si impiegano per la carica degli accumulatori, sono del tipo in derivazione. La forza contro-elettromotrice di una batteria di accumulatori cresce man mano che la batteria si carica. Inoltre la corrente di carica deve essere più intensa all'inizio che alla fine della carica stessa. La tensione fornita da una dinamo in derivazione, debole quando il carico è forte, aumenta col diminuire del carico (Fig. 118): perciò una dinamo in derivazione si presta ottimamente alla carica di una batteria di accumulatori. Essa darà all'inizio, quando la f. c. e. m. è piccola, una corrente intensa, la quale andrà man mano scemando, col crescere della f. c. e. m. degli accumulatori. Invece di una dinamo in derivazione si può anche usare una dinamo compound, la cui tensione, al variare del carico entro determinati limiti, resta praticamente costante. In questo caso l'intensità iniziale della corrente di carica è maggiore che nel caso precedente, pur diminuendo colla stessa legge, man mano che la carica progredisce. Una corrente iniziale di elevata intensità riduce il tempo richiesto per la carica totale; e purchè la batteria possa tollerarla, costituisce un vantaggio non trascurabile. Le batterie portatili moderne si prestano a questo tipo di carica e per esse si potranno usare dinamo compound. Il trattamento di carica più opportuno per un determinato tipo di accumulatore risulta dalle istruzioni, che si riferiscono a quel tipo speciale di accumulatore.

I complessi motore-dinamo permettono anche di utilizzare gli ordinari circuiti di illuminazione (a circa 110 volt) per l'alimentazione con corrente continua a 500 o 600 volt di apparati trasmettenti ad arco (par. 174); quelli motore a c. c., alternatore si prestano a trasformare corrente continua a bassa tensione in corrente alternata a 500 o 900 periodi per alimentare gli appa-

rati trasmettenti a scintilla a frequenza telefonica (par. 154). Gli alternatori di tali apparati sono stati descritti nel par. 94.

103. **Convertitrici.** — Colleghiamo due punti opposti di un indotto di una dinamo bipolare ad una coppia di anelli, sui quali scorrano due spazzole; nel circuito derivato su queste spazzole avremo corrente alternata: contemporaneamente dalle spazzole, che strisciano sul collettore, potremo ricavare corrente continua. La dinamo funziona così come un « doppio generatore di corrente ». Sconnettiamo la dinamo dal motore, che l'azionava; e attraverso alle spazzole del collettore inviamo nell'indotto corrente continua. La macchina funzionerà come un motore a c. c. in derivazione e genererà corrente alternata. Se invece si fa funzionare come un motore a corrente alternata, genererà corrente continua. Una macchina di questo tipo costituisce una « convertitrice ». Se la macchina si alimenta dal lato corrente alternata, e si fa funzionare come un motore a c. a. (non però come un motore ad induzione), la corrente continua di eccitazione si deriva dal collettore, ed il rotore gira alla esatta velocità di sincronismo (cioè alla velocità, a cui si dovrebbe tenere in moto la macchina, perchè, funzionando da alternatore, producesse corrente alternata della stessa frequenza). Quando invece la convertitrice si alimenta dal lato corrente continua, la frequenza della corrente alternata, che si genera, dipende dalla velocità di rotazione dell'indotto, che si può regolare con uno dei metodi, già accennati, trattando dei motori in derivazione.

Le convertitrici presentano il vantaggio di riunire in un'unica macchina le due parti di un complesso motore-generatore: hanno però l'inconveniente che la tensione generata è strettamente legata alla tensione di alimentazione. Così ad es. in una convertitrice monofase, la tensione alternata è circa il 71 per cento della tensione continua, con leggere varianti in più o in meno a seconda del senso della conversione. Di conseguenza, se alimentiamo una convertitrice monofase colla corrente continua, fornita da una batteria di accumulatori a 10 volt, otteniamo corrente alternata a 7 volt. Non è inoltre possibile avere frequenze dell'ordine di 500 p. s, per apparati r. t. trasmettenti,

da una convertitrice alimentata con una batteria di accumulatori, soluzione che in pratica si presenterebbe assai comoda, perchè la velocità del rotore e il numero delle lamelle del collettore dovrebbero raggiungere valori troppo forti.

Oltre che monofasi, le convertitrici possono essere bifasi o trifasi. Le prime hanno quattro prese simmetriche sull'indotto collegate a quattro anelli; le seconde, tre prese e tre anelli collettori. Le considerazioni relative alle convertitrici bipolari valgono anche per le convertitrici multipolari, tenendo presente che ciascun anello collettore ha tante prese sull'indotto quante sono le coppie di poli.

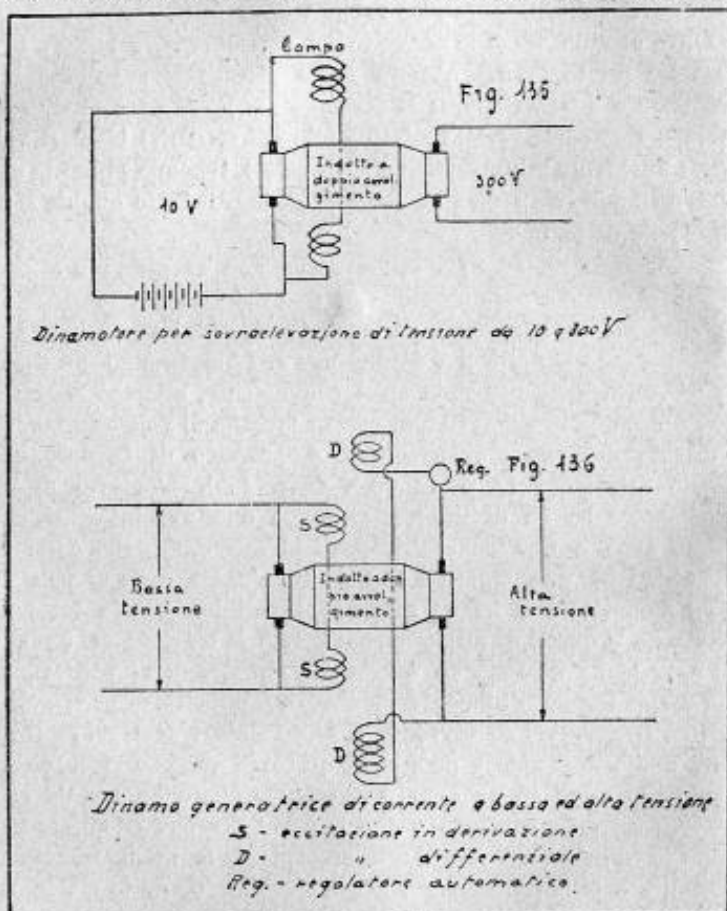
104. **Dinamotori.** — Le convertitrici non si prestano a trasformare una corrente continua di una determinata tensione in un'altra corrente continua di tensione diversa. La macchina più adatta a tale scopo è il « dinamotore ». L'impiego di un dinamotore è in radiotelegrafia assai conveniente, allorchè si tratta di fornire una tensione di parecchie centinaia di volt alle lamine anodiche dei triodi trasmettenti, disponendo di batterie, che danno solamente 10 o 12 volt. (Fig. 135). L'indotto di un dinamotore ha su di un nucleo unico due avvolgimenti, che fanno capo a due collettori, posti all'estremità delle asse: la macchina ha una carcassa unica ed un'unica serie di poli. In ogni dinamotore si ha un rapporto invariabile fra la tensione applicata e quella di utilizzazione: perciò la tensione nel circuito di erogazione dipende da quella del circuito di alimentazione. La stessa sorgente alimenta l'indotto e il circuito di eccitazione.

105. **Generatori di corrente a due tensioni diverse.** — Il rotore di un dinamotore può, come quello di un generatore, essere tenuto in moto da un agente meccanico qualunque: in tal caso genera corrente continua a due tensioni diverse. Di questo tipo sono le dinamo a vento degli aereoplani, le quali forniscono corrente a tensione modesta ai filamenti, e corrente a tensione elevata agli anodi dei triodi trasmettenti.

Perchè, ad onta delle velocità variabili impresse al rotore, le tensioni conservino un valore costante, è necessario, quando la velocità cresce, indebolire il campo magnetico. A tal uopo le

masse polari hanno un doppio circuito di eccitazione, con spire avvolte in senso opposto, cosicchè il campo risultante é la differenza dei due (Fig. 136). Dei due circuiti, il primo, che è il

Dinamotore per sovraelevazione di tensione da 10 a 300 V

Dinamo generatrice di corrente a bassa ed alta tensione
S - eccitazione in derivazione
D - " differenziale
Reg. - regolatore automatico

circuito magnetizzante propriamente detto, è alimentato a intensità costante da uno dei due collettori. Nel secondo invece, alimentato dall'altro collettore, circola una corrente di intensità

variabile; debole, quando la velocità del rotore è quella normale; più intensa quando la velocità del rotore cresce; per modo che l'aumento di velocità è compensato da una diminuzione di flusso. La corrente in questo circuito varia in relazione alla velocità del rotore, grazie ad un regolatore automatico molto sensibile.

106. **Avarie più comuni delle macchine elettriche.** — Le macchine elettriche sono soggette alle stesse avarie, che ricorrono in tutte le altre macchine, e che hanno origini assai varie: quali ad esempio l'eccessivo attrito, la presenza di corpi estranei, la scarsa lubrificazione delle superfici sfreganti, il cattivo serraggio dei cuscinetti, l'imperfetta livellazione della linea d'asse. Esse si manifestano sempre o con un'eccessiva richiesta di energia, o col riscaldamento delle parti in moto, o colla presenza di vibrazioni. I cuscinetti devono essere ben puliti e levigati, la linea d'asse ben livellata, e si deve evitare di dare eccessivo serraggio ai cuscinetti. Le vaschette di lubrificazione devono sempre contenere una quantità sufficiente di olio di buona qualità, perchè i cuscinetti si mantengano ben lubrificati. Nella maggior parte dei generatori e dei motori la lubrificazione avviene per mezzo di anelli di ottone infilati sull'asse e immersi nell'olio, che essi pescano nel loro moto di rotazione. Spesso nello smontare la macchina questi anelli si deteriorano, e non ruotano più bene; di conseguenza i cuscinetti restano asciutti e si scaldano.

Alcune macchine hanno cuscinetti a sfere. Le sfere diminuiscono molto l'attrito, ma danno luogo agli stessi inconvenienti, che si verificano nelle biciclette, e cioè la rottura delle sfere, il loro ingranamento, l'errato serraggio, etc.

In generale un cuscinetto, che si scalda a un grado tale che una mano non possa tollerarne il contatto, richiede attenzione; l'entità dell'avaria può rapidamente crescere, fino a produrre l'ingranamento dell'asse. La riparazione di un asse ingranato esige un lavoro lungo e faticoso.

Un'altra causa d'attrito si ha nelle spazzole. Se esse sono troppo premute, pigiano sul collettore oltre il necessario, mentre dovrebbero scorrere a dolce attrito, così da garantire un buon con-

tatto elettrico, ed evitare scintille o fiammate. Quando le spazzole di carbone sono di buona qualità, la superficie metallica, sulla quale strisciano, diviene leggermente levigata e si consuma molto lentamente. Questa considerazione è particolarmente importante pei collettori delle macchine a corrente continua, che sono di rame.

Oltre alle avarie di natura meccanica si possono presentare inconvenienti di origine elettrica; l'eliminazione di alcuni di essi richiede molta pratica, altri si individuano e si eliminano facilmente. Le avarie elettriche più comuni sono dovute a interruzione o errata connessione dei circuiti, e a sporcizia.

I contatti (generalmente accidentali), che consentono alla corrente di seguire vie diverse da quelle relative al funzionamento normale della macchina, diconsi « corti circuiti ». Essi sono una sorgente assai comune di avarie.

Un procedimento sistematico, per individuare ed eliminare le avarie di indole elettrica, può essere il seguente:

1. Disegnare o procurarsi uno schema del circuito, a meno che le connessioni non siano perfettamente note e si sia sicuri della loro esattezza. Nel compilare lo schema, seguire ciascun ramo del circuito dalla sorgente (serrafili + della batteria o dell'indotto del generatore) e proseguire verso il serrafili — fino a tornare al punto di partenza. Rammentare che in un circuito o in un tratto di circuito non circola corrente, se ai capi di esso non è applicata una differenza di potenziale.

2. Controllare la posizione dei conduttori, secondo le indicazioni dello schema.

3. Nel seguire i conduttori osservare che:

a) Le valvole fusibili, se ve ne sono in circuito, siano in buono stato.

b) I conduttori siano puliti e in buone condizioni.

c) Là dove i conduttori devono fare buon contatto, questo non sia impedito dal rivestimento isolante delle viti di pressione o del conduttore.

d) I conduttori non si tocchino, dando origine a corti circuiti.

e) Non vi siano conduttori o connessioni superflue.

f) I conduttori non presentino rotture al di dentro dell'iso-

lante. Questo inconveniente si presenta spesso nei conduttori molto usati delle lampade portatili. Nel punto di rottura il conduttore è facilmente pieghevole, e si può strappare in due pezzi più agevolmente che negli altri punti.

4. Osservare se l'avaria ha sede nella macchina.

In una dinamo gli inconvenienti elettrici facilmente riparabili sono, oltre a quelli dovuti a serrafili non bene stretti, i seguenti:

5. Mancanza di f. e. m. generata, dovuta a:

a) Spazzole, che non sono nella loro esatta posizione. In quasi tutte le dinamo, di costruzione relativamente moderna, la posizione esatta delle spazzole sul collettore è all'incirca in corrispondenza della mezzeria dei poli dell'eccitazione, o leggermente in avanti (nel senso della rotazione). Volendola individuare per tentativi, essa è quella, che dà una commutazione senza scintillio. La spazzole sono dal costruttore messe nella loro giusta posizione, e si dovrebbero lasciare come sono, a meno che non vi sieno delle buone ragioni per credere che esse siano poi state spostate.

b) Spazzole, che non fanno buon contatto, perchè non hanno una pressione sufficiente. Alzare con cura le spazzole una alla volta per individuare quelle con molle rilassate; pressare inoltre le spazzole sul collettore con una bacchetta asciutta. Passare, a seconda dei casi, della sottile carta smeriglio fra collettore e spazzole (sollevando la spazzola in modo che non esca dal portaspazzola) o comprimere le molle della spazzola, di quanto è necessario.

Le spazzole sono profilate in modo da premere sul collettore in direzione normale all'asse, o più chiaramente, in maniera da strisciare sul collettore, come farebbe un ordinario pennello, che venisse premuto contro il collettore stesso. In qualche caso dà soddisfacenti risultati una forma di portaspazzole, nel quale la pressione delle spazzole si esercita in senso contrario a quello di rotazione. Invece di scorrere su e giù nel portaspazzole, esse sono pressate per mezzo di molle contro una superficie levigata di ottone.

c) Connessioni dell'eccitazione invertite.

6. Scintillio prodotto da:

a) Scabrosità del collettore; si elimina premendo della carta smeriglio sottile (non dello smeriglio) sul collettore, mentre ruota.

b) Errata posizione delle spazzole; per eliminare l'inconveniente, riferirsi al N. 5. È molto importante che tutte le spazzole sieno nella loro esatta posizione; vale a dire che, se ad esempio le spazzole debbono toccare il collettore in quattro punti simmetrici, esse effettivamente distino fra loro di un quarto di circonferenza; come si può facilmente verificare, segnandone la posizione sopra una striscia di carta, adagiata sul collettore.

7. Riscaldamento del collettore, dovuto all'attrito delle spazzole. Si diminuisce la tensione delle molle.

In un alternatore porre attenzione:

8. Ai serrafili non bene stretti ed ai cattivi contatti delle spazzole. La posizione delle spazzole sugli anelli è indifferente, poichè non vi è commutazione.

Nei motori in derivazione, nei complessi motore-generatore e dinamotori a corrente continua i soli inconvenienti, che si presentano sono:

9. La macchina non parte o si avvia con velocità eccessiva, per effetto di connessioni errate (par. 97).

10. Scintillio, dovuto a carico eccessivo o a inesatta posizione delle spazzole. Vedi più sopra N. 5 e 6. La posizione esatta delle spazzole in un motore è un pò indietro (rispetto al senso della rotazione) della mezzeria dei poli di eccitazione.

CAPITOLO 3.

CIRCUITI RADIOTELEGRAFICI.

A. Circuito oscillante semplice.

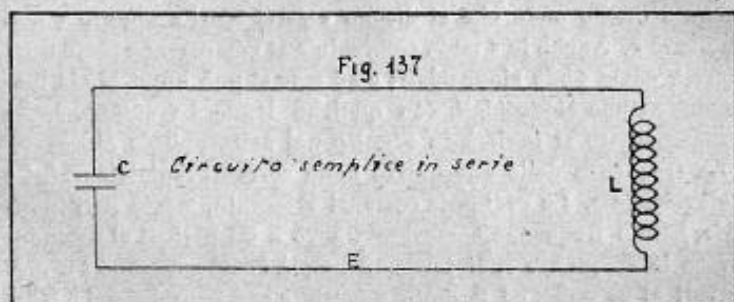
107. Generalità sui circuiti radiotelegrafici. — I principii delle correnti alternate esposti nel capitolo 1 si applicano anche ai circuiti radiotelegrafici. Le correnti radiotelegrafiche non sono che correnti alternate ad altissima frequenza. I concetti fondamentali relativi alle onde sinusoidali (Par. 50) sono applicabili anche a quelle onde, che si dicono « persistenti » oppure « non smorzate ». Anche le « onde smorzate » si comportano sotto certi aspetti, come onde sinusoidali; e ad esse si può applicare la teoria delle onde sinusoidali, con qualche leggera modifica. Delle onde smorzate si parlerà in seguito nel sottocapitolo B.

La frequenza delle alternative delle correnti radiotelegrafiche è elevatissima. Le ordinarie correnti alternate, usate nell'industria, hanno frequenze comprese fra 25 e 60 periodi al secondo: invece le frequenze radiotelegrafiche più basse superano i 20.000 periodi al secondo, ed il limite superiore può considerarsi a circa 10.000.000 di periodi al secondo. Una così notevole differenza di frequenza dà luogo naturalmente ad alcune varianti nel comportamento dei circuiti radiotelegrafici in confronto ai circuiti a corrente alternata a bassa frequenza.

Nei circuiti a c. a. a bassa frequenza la principale opposizione alla corrente è offerta dalla resistenza. In un circuito radiotelegrafico invece la reattanza induttiva e la reattanza di capacità hanno una importanza assai maggiore della resistenza, che esercita una azione secondaria. La reattanza offerta da piccole induttanze, quali quelle costituite da poche spire di filo è notevole; e i condensatori di piccola capacità, mentre impedirebbero il passaggio di correnti alternate ordinarie, consentono invece agevolmente il passaggio di correnti radiotelegrafiche. Gli effetti di mutua in-

duzione di un circuito su di un altro sono molto maggiori, quando si impiegano frequenze radiotelegrafiche invece delle frequenze industriali. Le enormi frequenze usate in radiotelegrafia esaltano anche l'effetto della pelle, le correnti parassite, e le perdite nei dielettrici.

Inoltre gli strumenti di misura, comunemente usati per le correnti alternate, sono per lo più inadatti pei circuiti radiotelegrafici, e richiedono speciali metodi di inserzione. Si prestano in generale per gli usi radiotelegrafici gli strumenti basati sugli effetti termici delle correnti (par. 59). Gli strumenti a corrente continua possono pure essere adoperati, se in serie con dispositivi raddrizzatori. Il telefono ricevente, così utile nella

Fig. 137

tecnica delle basse frequenze, richiede pure un raddrizzatore. Alle basse frequenze il diaframma del ricevitore telefonico vibra colla corrente, e dà luogo ad una nota musicale percettibile, che ha la stessa frequenza della corrente alternata. Le correnti radiotelegrafiche invece presentano delle alternative, che sono troppo rapide per essere seguite direttamente dalla membrana telefonica; e, se anche il diaframma potesse vibrare così rapidamente, il suono prodotto sarebbe di una nota troppo alta per essere udita dall'orecchio. È perciò necessario separare le correnti radiotelegrafiche in gruppi di onde raddrizzate. Ciascun gruppo di onde dà un unico impulso al diaframma, e, se gli impulsi si seguono regolarmente con sufficiente rapidità, nel telefono si ha una nota musicale.

108. Circuito con resistenza, induttanza e capacità in serie. — La forma più semplice di circuito radiotelegrafico è quello avente in serie resistenza, induttanza e capacità, come in fig. 137. Si suppone di applicare in E una f. e. m. alternata.

Nel capitoto 1, par. 57, si è dimostrato che in un circuito, al quale sia applicata una f. e. m. alternata, la corrente è data dalla relazione:

$$Corrente = \frac{f.\ e.\ m.}{impedenza}$$

Se nella formula si introduce il valore efficace della f. e. m., si ottiene il valore efficace della corrente (par. 51).

L'impedenza Z dipende non solamente dalla resistenza R, ma anche dalla reattanza X del circuito (par. 55, 57). Se la f. e. m. applicata è sinoidale,

$$Z^2 = R^2 + X^2 \tag{69}$$

Il quadrato dell'impedenza è quindi dato dalla somma dei quadrati della resistenza e della reattanza. L'impedenza non può quindi mai essere minore della resistenza, e in generale è maggiore. Se la resistenza del circuito è piccolissima rispetto alla reattanza, l'impedenza è praticamente eguale alla reattanza. L'impedenza si misura in ohm.

Come già si è detto (par. 49), la reattanza è l'opposizione offerta alla corrente da un avvolgimento induttivo o da una capacità. La reattanza induttiva è data dal prodotto di 2π per la frequenza e per l'autoinduzione dell'avvolgimento. La reattanza di capacità è eguale a $\frac{1}{2\pi f C}$ (par. 56), in cui f è la frequenza e C la capacità. Nei loro effetti reattivi una induttanza ed una capacità tendono ad annullarsi l'un l'altra, cosicchè la reattanza totale di un avvolgimento induttivo, avente un condensatore in serie, è data dalla differenza delle reattanze rispettive.

Esempio. — Si voglia calcolare la reattanza, che presenta una bobina d'induttanza di 500 μH avente in serie un condensatore della capacità di 0,005 μF, a frequenze differenti.

Frequenza (periodi al secondo)	Reattanza dell'avvolgim. (ohm).	Reattanza del condensatore (ohm).	Reattanza totale (ohm).
60	0.188	—530,000	—530,000
1,000	3,142	—31,840	—31,837
100,000	314,2	—318,4	—4,2
100,700	316,23	—316,23	0
1,000,000	3,142	—31,84	—3,119

La tabella indica a prima vista che la reattanza induttiva è piccola alle basse frequenze, aumenta coll'aumentare della frequenza e diviene molto grande alle frequenze più elevate, quali sono quelle radiotelegrafiche.

Il condensatore si comporta in modo completamente opposto. Alle più basse frequenze offre una grandissima reattanza; e alle frequenze radiotelegrafiche una reattanza notevolmente minore. A frequenze altissime la reattanza di capacità diviene trascurabile.

Nella maggior parte dei circuiti radiotelegrafici la resistenza del circuito si riduce a pochi ohm. È quindi evidente che, soltanto nel caso considerato nella tabella di una frequenza di 100.000 periodi, sarebbe necessario tener conto della resistenza per calcolare l'impedenza.

Se ad esempio R=5 ohm, l'impedenza per le frequenze della tabella sopra riportata, avrà rispettivamente i valori 530.000, 31.837, 6.5, 5 e 3110 ohm. In tutti i casi, eccettochè nel terzo e nel quarto, la differenza fra la reattanza e l'impedenza è minore di un milionesimo del valore dell'impedenza.

È quindi evidente che in molti casi l'impedenza di un circuito dipende quasi completamente dalla reattanza del circuito stesso. Solo in quei casi, in cui la reattanza è piccola, è necessario tener conto della resistenza.

109. **Risonanza in serie.** Sembrerebbe a prima vista che i circuiti radiotelegrafici dovessero offrire in generale un'impedenza elevata, e che quindi, a meno di applicare f. e. m. elevatissime, potessero circolare in essi solo debolissime correnti. Questo è generalmente esatto nei circuiti radiotelegrafici percorsi da correnti, la cui frequenza è scelta a caso. Regolando però opportunamente la frequenza, è possibile ridurre a zero la reattanza del circuito. Ciò riesce subito evidente, quando si ricordi che la reattanza induttiva cresce colla frequenza, mentre la reattanza di capacità diminuisce. Ad una determinata frequenza, la reattanza induttiva dell'avvolgimento può quindi avere lo stesso valore della reattanza di capacità; le due reattanze quindi si annullano e la reattanza totale è zero.

Si può facilmente illustrare per via grafica quanto abbiamo detto. In Fig. 138 si sono tracciate le curve A e B della reattanza induttiva e di quella di capacità, considerate nell'esempio precedente. Le frequenze sono prese sull'asse delle ascisse e le reattanze sull'asse delle ordinate. Le reattanze della curva B sono al di sotto dell'asse delle ascisse, mentre quelle della curva A al di sopra: ossia si è dato il segno — alle reattanze di capacità. La curva C è ottenuta, facendo la somma algebrica delle reattanze delle curve A e B; è cioè la curva della reattanza risultante del circuito. Per i valori di C ed L considerati in questo esempio, il circuito agisce come una reattanza induttiva a tutte le frequenze maggiori di un valore di poco superiore ai 100.000 periodi, mentre al di sotto di tale frequenza prevale la reattanza di capacità. Inoltre, solo per una ristretta zona di frequenze, da 99.000 a 103.000, la reattanza del circuito è minore di 10 ohm. Per la maggior parte delle frequenze considerate, la reattanza supera di molto questo valore.

La frequenza, alla quale le due reattanze, induttiva e di capacità, sono eguali chiamasi « frequenza di risonanza » del circuito, e si dice che il circuito è in « risonanza » o è « sintonizzato » per la frequenza in parola. È importante saper calcolare la fre-

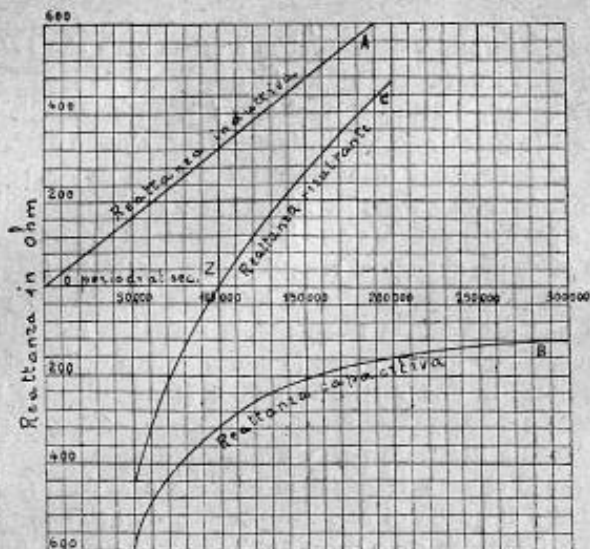



Fig. 138

Variazione della reattanza colla frequenza
L = 500 μH   C = 0.005 μμF

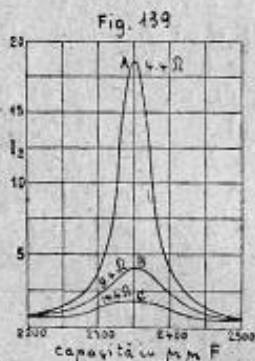
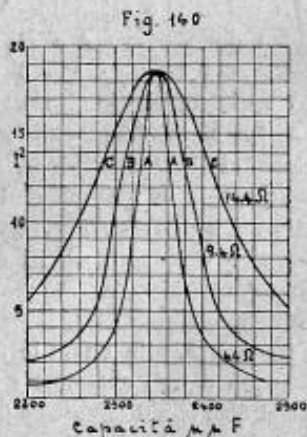
Fig. 139

Curve di risonanza di un circuito in serie con resistenze differenti

Fig. 140

Effetto della resistenza sulla forma della curva di risonanza

quenza di risonanza. Nella condizione di risonanza deve essere soddisfatta la condizione

$$2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C} \qquad (70)$$

da cui si ricava la frequenza di risonanza

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (71)$$

Applicando questa relazione all'esempio sopra discusso, e sostituendo alle lettere i valori $L=0{,}0005$ henry, $C=5/10^9$ farad, si trova che la frequenza di risonanza è circa 100.700 periodi al secondo. Le reattanze induttiva e di capacità a questa frequenza sono eguali, ed hanno il valore di 316.2 ohm, come si ricava sostituendo ad f il valore della frequenza di risonanza nell'espressione $2\pi f L$ o $\frac{1}{2\pi f C}$. È opportuno notare che queste due espressioni si riducono semplicemente a $\sqrt{\frac{L}{C}}$, quando la frequenza ha il valore di risonanza.

Esiste quindi per ciascun circuito, contenente in serie resistenza, induttanza e capacità, un determinato valore della frequenza, per il quale la reattanza totale nel circuito è zero, e la impedenza è semplicemente eguale alla resistenza del circuito. Questa frequenza dicesi frequenza di risonanza, e si dice che il circuito è in condizione di risonanza: l'impedenza ha il suo valore minimo, e la corrente, che circola nel circuito per una data f. e. m. applicata, ha il suo valore massimo.

Quanto sopra si può verificare sperimentalmente, inserendo in un circuito radiotelegrafico un amperometro adatto a misurare correnti radiotelegrafiche. Se si eleva gradualmente la frequenza della f. e. m. applicata, la corrente, che al principio è debole, cresce molto lentamente coll'aumentare della frequenza. Nell'intorno immediato della frequenza di risonanza, la corrente aumenta rapidamente, per piccole variazioni della frequenza, e,

dopo aver raggiunto un massimo, decresce di nuovo celermente coll'aumentare della frequenza, fino ad annullarsi per i più alti valori di questa. I risultati di tale esperienza possono essere riassunti in un diagramma, nel quale le frequenze siano misurate sulle ascisse e le correnti sulle ordinate. Poichè la maggior parte degli strumenti, adatti per la misura di correnti radiotelegrafiche, danno deviazioni proporzionali al quadrato della corrente, si usano segnare i quadrati della corrente o le deviazioni dello strumento anzichè le correnti stesse. Sono « curve di risonanza » quelle tracciate in Fig. 139, ed indicano chiaramente la condizione di risonanza.

Il fenomeno della risonanza per la sua grande importanza merita di essere trattato più estesamente. Per fissare le idee, si supponga che la resistenza di un circuito, avente l'induttanza e la capacità considerate nell'esempio precedente, sia di 5 ohm, e che al circuito sia applicata una f. e. m di 10 volt. Il massimo valore possibile della corrente si trova dividendo la tensione applicata per la resistenza, ciò che dà 2 ampere. Questa corrente circolerà nel circuito, quando la frequenza ha il valore critico di 100.700 periodi al secondo. Per studiare la distribuzione della f. e. m. nei differenti tratti del circuito, dobbiamo ricordare (par. 55) che la f. e. m. fra due punti di un circuito è eguale al prodotto della corrente per l'impedenza fra i punti considerati. Di conseguenza la f. e. m. fra gli estremi della resistenza è $2 \times 5 = 10$ volt, quella fra i capi dell'induttanza è $2 \times 316{,}23 = 632{,}46$ volt, e la stessa tensione si trova anche fra le armature del condensatore.

L'esistenza di una tensione così elevata, sia sulla bobina di induttanza che sul condensatore, spiega come è possibile avere delle correnti relativamente intense attraverso le grandi reattanze della bobina e del condensatore. La debole tensione applicata serve solo per permettere alla corrente di vincere la resistenza del circuito; non per mantenere la corrente attraverso la bobina o il condensatore. Per spiegare la presenza di tensioni elevate sulla bobina e sul condensatore, dobbiamo rammentare quanto si disse nel par. 59, e cioè che, quando una

corrente circola attraverso un'induttanza e una capacità in serie, la f. e. m. ai capi dell'induttanza è in ogni istante di segno contrario a quella tra le armature del condensatore. Perciò la somma delle tensioni in giuoco si ottiene, sottraendo i loro valori rispettivi. Poichè alla frequenza di risonanza la f. e. m. ai capi della bobina di induttanza ha lo stesso valore della f. e. m. tra le armature del condensatore, la f. e. m. tra i capi del circuito è nulla.

La potenza è provveduta al circuito dalla sorgente in una misura che si può calcolare (quando si sia raggiunta la condizione di risonanza), moltiplicando semplicemente la f. e. m. per la corrente (par. 55). Nel nostro caso, la potenza sarebbe $10 \times 2 = 20$ watt. La potenza dissipata in calore nella resistenza si può determinare, facendo il prodotto della resistenza per il quadrato della corrente. (par. 51). In questo caso è $50 \times 2^2 = 20$ watt. La sorgente perciò fornisce potenza al circuito esattamente nella misura necessaria per sopperire alle perdite, dovute all'effetto Joule nella resistenza. Quando la corrente ha raggiunto il valore efficace di regime (2 ampere nel nostro caso), la sorgente non fornisce ulteriore potenza all'induttanza o al condensatore; ma si ha semplicemente un passaggio di potenza dall'uno all'altro e viceversa, senza che in questo passaggio si abbiano perdite o guadagni, e non occorre alcun agente esterno perchè tale condizione si mantenga.

Esempio meccanico di risonanza. — Si possono citare molti esempi meccanici di risonanza. È noto come, quando una compagnia di soldati passa su di un ponte, l'ufficiale dà l'ordine « rompete il passo ». Il trascurare questa precauzione è stato qualche volta la causa, per cui, in seguito a violente vibrazioni, il ponte ha subito gravi danni.

Ed infatti il ponte vibra per effetto degli impulsi, che riceve, e la frequenza, ossia il numero delle sue vibrazioni al secondo, è per un dato ponte una costante, qualunque sia l'origine degli impulsi stessi. La frequenza delle vibrazioni del ponte è analoga alla frequenza delle oscillazioni nei circuiti. Se a intervalli regolari di tempo si imprime al ponte un numero di impulsi al

secondo, tale da eguagliare esattamente il numero delle vibrazioni naturali del ponte nello stesso intervallo di tempo, ancorchè l'intensità dei singoli impulsi sia piccola, il ponte viene ad essere sottoposto a vibrazioni assai violente. In questa condizione, la quantità di moto applicata al ponte cogli impulsi successivi é appena sufficiente a vincere gli attriti, che farebbero spegnere le vibrazioni. Le forze molto più intense, che entrano in giuoco, corrispondono alle tensioni elevate, che agiscono nell'induttanza e nella capacità del circuito, ed esattamente la tensione tra i capi dell'induttanza è della stessa natura delle fòrze, che tendono a deformare la struttura del ponte, e la tensione tra le armature del condensatore corrisponde alle reazioni elastiche del ponte stesso. La debole intensità degli impulsi applicati al ponte corrisponde nel caso elettrico alla tenue f. e. m. applicata.

Quando le vibrazioni del ponte raggiungono una intensità sufficiente a produrre la rottura, è segno che la struttura del ponte è cimentata oltre il suo carico di rottura. Analogamente nei casi, in cui la corrente di risonanza è troppo intensa, il dielettrico del condensatore è squarciato dalla tensione, che si determina fra le sue armature.

110. Sintonizzazione di un circuito. — L'importanza pratica della risonanza in un circuito sta nel fatto che in tale condizione l'impedenza di esso si riduce alla sola resistenza ohmica. Dobbiamo ricordare che la reattanza delle piccole induttanze, sempre presenti in un circuito r. t., alle frequenze radiotelegrafiche assume un valore notevole, che spesso supera di molto il valore della resistenza.

Questo fatto, verificandosi nei circuiti, dove agiscono le piccolissime f. e. m. dei segnali in arrivo, renderebbe impossibile lo stabilirsi di correnti sia pure esigue negli apparecchi riceventi costituiti da sola induttanza. Da questo punto di vista la sintonizzazione di un circuito alla risonanza consiste nel compensare la reattanza induttiva con una reattanza eguale di capacità, per modo che l'impedenza totale del circuito stesso si riduca alla sola resistenza.

Si può portare un circuito alla risonanza in tre modi:

(a) Scegliendo opportunamente la frequenza della f. e. m. applicata.

(b) Variando la capacità del circuito.

(c) Variandone l'induttanza.

Il primo di questi casi è già stato esaminato. Gli altri due ricorrono nei circuiti riceventi, nei quali la frequenza delle onde in arrivo è quella che è, e non può essere cambiata dall'operatore; e nei circuiti di alcuni apparati trasmettenti.

La possibilità di sintonizzare un circuito non si limita naturalmente ai circuiti radiotelegrafici, ma si presenta anche negli ordinari circuiti a corrente alternata, ed è d'impiego comune in telefonia. Tuttavia, nei circuiti a bassa frequenza, i valori di induttanza e di capacità impiegati sono in generale relativamente grandi, cosichè non si prestano a subire variazioni di piccola entità. Inoltre, dato il largo impiego di potenza, che si ha nei circuiti industriali a bassa frequenza, l'uso di condensatori per compensare la reattanza induttiva degli avvolgimenti presenta qualche inconveniente. Invece le induttanze e le capacità, usate in radiotelegrafia, sono relativamente piccole, e la costruzione di variometri, o induttanze variabili con continuità, e di condensatori a capacità variabile non offre particolari difficoltà.

Dalla formula (71) si deduce che la frequenza di risonanza è funzione del prodotto dell'induttanza e della capacità, più che dei loro singoli valori. Per sintonizzare un circuito ad una data frequenza, si può usare un'induttanza grande o piccola, purchè corrispondentemente la capacità si regoli in modo, che il prodotto dei due fattori sia quello relativo alla frequenza prescelta.

111. Curve di risonanza. — Le curve di risonanza sono curve, che indicano il modo di variare della corrente in un circuito, nei dintorni della condizione di risonanza. Esse danno la intensità di corrente (o del quadrato della corrente) corrispondente a frequenze un pò al disopra e al disotto della frequenza di risonanza, o per valori di capacità e induttanza prossimi a quelli definiti dalla condizione di risonanza stessa. Tali curve si de-

terminano spesso sperimentalmente in tutto o in parte, per calcolare lo smorzamento dei circuiti. (Si parlerà dello smorzamento in appresso nel par. 116). Sono di questo genere, ad esempio, le curve della Fig. 139, nelle quali, in una scala arbitraria, sono riportati i valori dei quadrati della corrente in corrispondenza a differenti valori di capacità di un condensatore variabile, per una data induttanza fissa di 377 microheny. Le tre curve differenti si riferiscono a tre diversi valori di resistenza ohmica del circuito, e precisamente di 4.4, 9.4 e 14,4 ohm.

Acutezza della Sintonia. — Dovevamo naturalmente prevedere che il valore della corrente alla risonanza (ordinata massima della curva) sarebbe stato tanto maggiore, quanto minore era la resistenza del circuito; ma è bene richiamare particolarmente l'attenzione del lettore sul fatto che la curva, corrispondente alla resistenza minore, è la più aguzza, mentre quella, che si riferisce alla resistenza maggiore, è la più pianeggiante. Questa particolare caratteristica delle curve di risonanza è una conseguenza delle relazioni, che abbiamo stabilito per l'impedenza. Si può mettere meglio in evidenza quanto sopra, tracciando le tre curve della fig. 139 in scale opportune, per modo che le creste delle tre curve risultino alla stessa altezza, come è stato fatto in Fig. 140.

Si possono ottenere gli stessi risultati, mettendo in curva i valori dei quadrati dell'impedenza corrispondenti a valori differenti di capacità e di resistenza. La frequenza di risonanza nel caso considerato è di 169.100 periodi al secondo, ciò che indica che coll'induttanza di 377 μH la capacità del condensatore alla risonanza è quasi esattamente 2350 μF. La reattanza induttiva e di capacità a questa frequenza è 400.56 ohm in tutti i casi.

La tabella seguente riproduce i valori di impedenza, corrispondenti a tre differenti capacità del condensatore, quando la resistenza abbia i tre valori adottati nelle curve. I quadrati delle correnti sono naturalmente tanto minori quanto maggiori sono i quadrati della impedenza.

Capacità dei condensatore μF	Quadrati dell'impedenza		
	Per $R=4,4$	Per $R=9,4$	Per $R=14,4$
2300 2350 2400	94,1 19,3 90,0	163,1 88,3 158,9	282 207 278

In corrispondenza della resistenza 4,4 ohm, il quadrato della corrente è alla risonanza circa 4,7 volte maggiore di quando la capacità subisce in un senso o nell'altro una variazione di 50 μF. Con una resistenza di 9,4 ohm tale rapporto scende a circa 1,8, e con una resistenza di 14,4 ohm si riduce a solo 1.35. Questi risultati dedotti matematicamente corrispondono con esattezza ai valori sperimentali. La stretta dipendenza, che esiste fra la forma della curva di risonanza ed il valore della resistenza del circuito, indica la possibilità di ricavare la resistenza totale di un circuito dalla sua curva di risonanza.

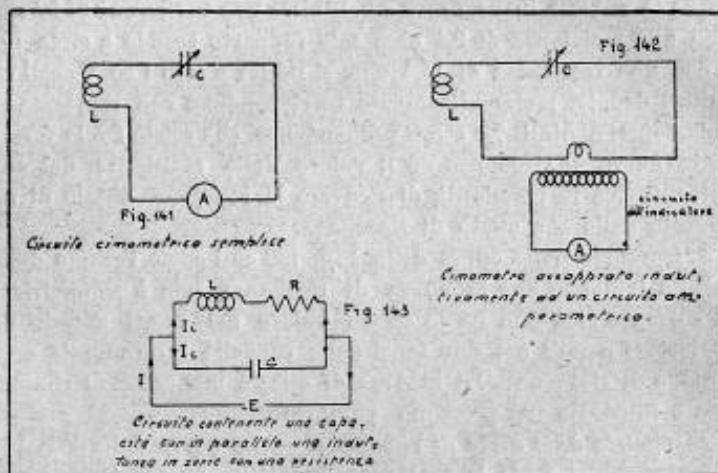
L'ispezione delle curve della Fig. 139 così come l'esame della tabella indicano che la curva di risonanza non è simmetrica: la corrente cioè non ha lo stesso valore nei punti definiti da variazioni eguali nei due sensi della capacità intorno alla condizione di risonanza. La ragione di questa mancanza di simmetria è illustrata nel prossimo paragrafo.

Simmetria delle curve di risonanza. — Le curve della Fig. 138 indicano come varia la reattanza induttiva, curva *A*, quella di capacità, curva *B*, e la reattanza totale, curva *C* (loro somma), al variare della frequenza. La curva della reattanza totale non è simmetrica rispetto all'asse delle ascisse (Fig. 138); e quindi anche la cresta della curva di risonanza (Fig. 139) è asimmetrica; ossia la corrente non ha lo stesso valore in corrispondenza di due frequenze, scartate dalla stessa quantità nei due sensi dalla frequenza di risonanza. La ragione di ciò va ricercata nella forma della curva della reattanza del condensatore.

La stessa mancanza di simmetria esiste nelle curve di risonanza, ottenute mantenendo costanti l'induttanza e la frequenza

e variando la capacità. Se invece i fattori costanti sono la frequenza e la capacità, e la condizione di risonanza viene raggiunta variando l'induttanza, si ottiene una curva di risonanza simmetrica. La differenza fra questo caso ed i due precedenti sta nel fatto che le curve della reattanza di capacità e induttiva, e quindi della reattanza totale, sono in questo caso linee rette.

Riassumendo dunque, possiamo dire che la curva di risonanza è simmetrica, quando la sintonia si ottiene variando l'induttanza (C ed f costanti), ma non è simmetrica cogli altri due me-

todi di sintonizzazione, a L ed f costanti e C variabile, o a L e C costanti ed f variabile.

112. Il Cimometro. — Il fenomeno della risonanza ci pone in grado di ottenere delle correnti relativamente intense in un circuito, a cui applichiamo una debole f. e. m., purchè esattamente sintonizzato. Per verificare quando in un dato circuito si realizza la condizione di risonanza ad una frequenza determinata, o per misurare la frequenza, per la quale un circuito di costanti prestabilite è in risonanza, si fa uso del «cimometro». Esso è lo strumento più importante delle misure radiotelegra-

fiche. Consta essenzialmente di un circuito, avente in serie un'induttanza ed una capacità di valori noti, e di cui una qualunque è fissa, mentre l'altra è variabile. Un amperometro a filo caldo, una coppia termoelettrica o altro dispositivo adatto per la misura di correnti radiotelegrafiche è inserito, o direttamente nel circuito (Fig. 141), o accoppiato induttivamente ad esso. L'accoppiamento si sceglie in modo (par. 119) da avere una deviazione sensibile all'amperometro (Fig. 142).

Se in un dato circuito si deve misurare la frequenza della corrente, si avvicina l'induttanza del circuito cimometrico al circuito in questione, e si varia la capacità del cimometro, fino a che l'amperometro indica che la corrente nel circuito del cimometro è massima. Nel fare la regolazione finale, l'induttanza del cimometro si allontana al possibile dal circuito, su cui si opera, fino ad avere un massimo di corrente appena sensibile.

La frequenza incognita di risonanza si può calcolare in base al valore L noto e fisso della induttanza del cimometro, e della capacità C_r del condensatore alla risonanza, ricorrendo alla relazione:

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_r}} \tag{72}$$

Tuttavia, ciò che generalmente si desidera non è tanto la frequenza quanto la lunghezza d'onda (par. 124) delle onde elettromagnetiche irradiate da un circuito. La lunghezza d'onda λ è vincolata alla frequenza f dalla relazione fondamentale,

$$\lambda=\frac{c}{f} \tag{73}$$

in cui c è la velocità delle onde elettromagnetiche nello spazio, ed ha il valore di 300.000.000 metri al secondo. Esprimendo C_r in μF ed L in μH, come si usa comunemente, la relazione fondamentale, che dà la lunghezza d'onda in metri è

$$\lambda=1884\sqrt{LC_r} \tag{74}$$

Se, per esempio, L=1000 μH e C=0,001 μF, la lunghezza d'onda irradiata dal circuito è 1884 metri.

Un cimometro è generalmente provvisto di una cicala o altro dispositivo ausiliario, per mezzo del quale si possono produrre delle oscillazioni. Queste oscillazioni hanno una lunghezza d'onda, che può essere calcolata colla relazione (74) in base ai valori dell'induttanza e della capacità del cimometro. Accoppiando al circuito del cimometro con la cicala in azione un altro circuito, vi si indurrà una f. e. m. di eguale frequenza. Questa frequenza si può calcolare colla (74), in base alla induttanza del cimometro, che è nota, e alla capacità del condensatore alla tacca a cui è stato posto. Se inoltre si vuol accordare il circuito in questione per la frequenza del cimometro, basta accoppiare al circuito da sintonizzare il circuito del cimometro, far oscillare questo, e variare la capacità o l'induttanza del circuito da regolare fino ad avere nell'amperometro la corrente massima.

113. Risonanza in parallelo. — Nei paragrafi precedenti si è indicato come si possa ottenere in un circuito r. t. la massima intensità di corrente per una data f. e. m. applicata. Il principio della risonanza trova applicazione anche nella soluzione del problema inverso, di escludere cioè da un tratto del circuito correnti di una determinata frequenza, senza però impedire il passaggio di correnti di frequenze diverse. Ad un tale dispositivo si dà il nome di « filtro ». Un filtro consta essenzialmente di una bobina d'induttanza, collegata in parallelo con un condensatore. Questo dispositivo si interpone fra la sorgente di f. e. m. e quel tratto di circuito, dal quale si vogliono escludere le correnti di una determinata frequenza. Una combinazione di questo genere di una induttanza con una capacità si oppone al passaggio delle correnti di quella particolare frequenza, che è definita dai valori dell'induttanza e della capacità impiegate. Per rendere quindi tale dispositivo efficace per una determinata frequenza, occorre scegliere a priori la capacità e l'induttanza opportune. La soluzione di questo problema richiede la conoscenza dei principi della « risonanza in parallelo ».

La Fig. 143 rappresenta una bobina di induttanza L ed una

resistenza R, collegate in parallelo con un condensatore di capacità C. La corrente I dalla sorgente di f. e. m. alternata viene al circuito in risonanza, ed al punto di diramazione si divide, una parte I_1 passa attraverso l'induttanza e la resistenza, e l'altra I_2, attraverso la capacità. Ad ogni istante, la corrente I ha un valore, che è la somma algebrica dei valori istantanei di I_1 ed I_2. Supponiamo dapprima che la f. e. m. E abbia una data frequenza, e che l'induttanza della bobina sia invariabile. Disponiamo in circuito tre amperometri atti a misurare le tre correnti I, I_1 e I_2: se variamo con continuità il valore della capacità, osserveremo i seguenti fatti sperimentali.

In generale, le correnti nella bobina e nel condensatore saranno diverse, e la corrente I sarà meno intensa di quella, che compete a ciascuno di essi. Variando la capacità, si potrà fare in modo che le correnti nella bobina e nel condensatore si eguaglino, e contemporaneamente si vedrà diminuire la corrente principale. Per un dato valore critico della capacità, la corrente principale raggiungerà un valore minimo, mentre le correnti nella bobina e nel condensatore saranno quasi eguali, e ciascuna di esse risulterà essere molte volte più intensa della corrente principale. Se da questo istante in poi si continua a variare nello stesso senso la capacità, la corrente principale comincierà a crescere, e le correnti nella bobina e nel condensatore assumeranno valori differenti.

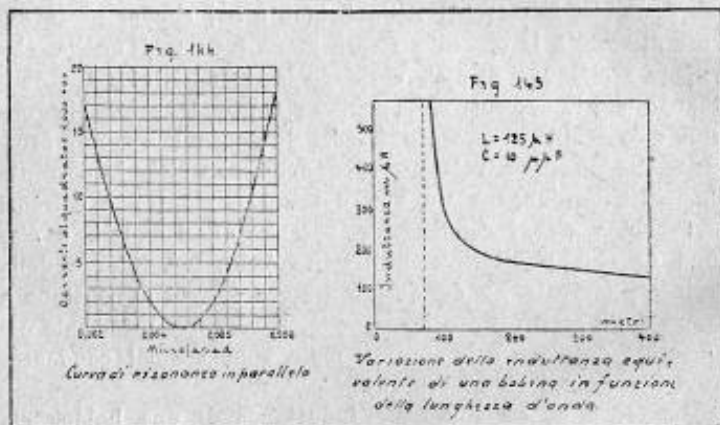
Supponiamo ad esempio che l'induttanza di una bobina sia di 1000 μH e la sua resistenza 2 Ω. Applichiamo una f. e. m. efficace di 10 volt, di frequenza pari a 71,340 periodi al secondo. (Si è scelto questo particolare valore di frequenza, perchè in corrispondenza di esso si ha il valore minimo della corrente con un condensatore di 0,005 μF.) Il comportarsi della corrente nel circuito principale, quando la capacità varia da 0,002 a 0,008 μF, è rappresentato in Fig. **144**: in esse i valori della capacità sono presi sulle ascisse ed i valori dei quadrati della corrente, (moltiplicati per un milione) sulle ordinate. La corrente minima non è zero, ma circa 0,0001 ampere, valore il cui quadrato è così piccolo che, nella scala della figura, si confonde coll'asse

delle ascisse. Le correnti corrispondenti, nell'induttanza e nel condensatore, sono circa 0,02236 ampere, e differiscono fra loro di $\frac{1}{100000}$ di questo valore.

In pratica, se vogliamo evitare che una f. e. m., non conveniente ai nostri scopi, si introduca per induzione o altrimenti nel circuito nel punto E (Fig. 143), potremo ricorrere a una combinazione in parallelo di induttanza e capacità di valori opportunamente scelti. Un filtro di questo genere non deve però impedire il passaggio di correnti di altre frequenze.

Se, per esempio, la f. e. m. E ha una frequenza di 100,000

Curva di risonanza in parallelo

Variazione della induttanza equivalente di una bobina in funzione della lunghezza d'onda

periodi, nel caso sopra considerato, mettendo in parallelo 1000 μH con 0,005 μF, nel circuito principale si avrebbe una corrente di 0,01549 ampere. Il filtro ha cioè un effetto d'arresto 155 volte maggiore per correnti di 71,340 periodi al secondo, che per correnti di 100,000 periodi, e per frequenze ancora più diverse la differenza di effetti sarebbe ancora più notevole. Filtri di questa specie si usano nei complessi radiotelefonici degli aereoplani, per escludere i rumori prodotti dal ge-neratore elettrico del complesso.

Si dimostra che, per escludere da un circuito con un filtro delle

correnti di frequenza f, fra l'induttanza e la capacità in parallelo deve intercedere la relazione:

$$C = \frac{L}{R^2 + (2\pi f L)^2} \qquad (75)$$

La corrente nel circuito principale si ottiene invece dall'altra relazione:

$$I = \frac{ER}{R^2 + (2\pi f L)^2} \qquad (76)$$

In pratica però tutti i circuiti radiotelegrafici hanno una resistenza così piccola in confronto alla reattanza induttiva, che si può trascurare. Verificandosi tale condizione, la relazione (75) coincide coll'altra, che definisce la risonanza in serie:

$$2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C}$$

In altre parole, un circuito chiuso, in cui si verifichi la risonanza in parallelo, riproduce gli stessi fenomeni, che abbiamo visto caratterizzare la risonanza in serie. E quindi, se teniamo presente che la tensione tra le armature del condensatore è eguale ed opposta a quella tra gli estremi della bobina, possiamo renderci ragione del fatto che la corrente alternativamente circola dalla bobina al condensatore e viceversa. Vista dal circuito principale, la corrente nella bobina appare, in ogni istante, di segno opposto alla corrente nel condensatore, cosicchè la corrente principale, che è la loro somma algebrica, è semplicemente la differenza fra le due. E poichè esse sono presso a poco eguali, si capisce come possano aversi correnti relativamente intense nella bobina e nel condensatore, mentre il circuito principale è quasi privo di corrente.

Un filtro ideale sarebbe quello, nel quale la resistenza della bobina d'induttanza e di tutti i fili di collegamento nei due circuiti derivati fosse effettivamente nulla. In tal caso, la con-

dizione della risonanza in parallelo sarebbe rigorosamente quella della risonanza in serie, la corrente nel condensatore sarebbe esattamente eguale a quella nella bobina, e nel circuito principale non circolerebbe corrente alcuna. Il circuito agirebbe come un filtro perfetto: non si avrebbe quindi trasferimento di energia dalla sorgente E al circuito chiuso: la sorgente non darebbe che una carica iniziale al condensatore, dopo di che la corrente continuerebbe a circolare fra i due circuiti derivati, anche se il circuito principale fosse soppresso. (par. 115; oscillazioni libere).

In pratica tuttavia si ha sempre nel circuito chiuso un po' di resistenza, e l'energia, che va spesa nel riscaldarla deve essere fornita dall'esterno, ossia dalla sorgente E. È facile dimostrare che a queste conclusioni si può pervenire anche dalla discussione delle relazioni, precedentemente poste. Quando si verifica la condizione di risonanza, la corrente principale e la f. e. m. E sono in fase, cosicchè la potenza è data dal prodotto della f. e. m. E per la corrente principale, cioè da $\frac{E^2 R}{R^2+(2\pi f L)^2}$. La potenza dissipata in calore è eguale al quadrato della corrente nella bobina, moltiplicata per la resistenza di questa. La corrente nella bobina è (par. 57), $\frac{E}{\sqrt{R^2+(2\pi f L)^2}}$, cosicchè la potenza dissipata in calore è $\frac{E^2 R}{R^2+(2\pi f L)^2}$, espressione identica alla precedente. Il fatto che la corrente principale, per una resistenza zero, è nulla, concorda colla relazione (76) che dà I, e coll'altro che in tale condizione non si ha neppure consumo di potenza per effetto Joule.

La risonanza in parallelo si può avere oltre che regolando la capacità (con induttanza invariabile), anche regolando l'induttanza (con capacità fissa), e per un'induttanza e capacità di valori dati, scegliendo opportunamente la frequenza della f. e. m. applicata. Si deve notare tuttavia che le condizioni di corrente minima realizzate, variando l'induttanza, la capacità e la frequenza, differiscono fra loro, ed in modo sensibile se la resistenza è notevole. Poichè però la resistenza dei circuiti radiotelegrafici è gegeneralmente assai piccola, sperimentalmente non si nota diffe-

renza alcuna fra le tre diverse condizioni di corrente minima. Con resistenza nulla, le tre condizioni coincidono e sono espresse dalla relazione (75).

114. Capacità delle bobine di induttanza. — Le bobine, usate nei circuiti radiotelegrafici, raramente si possono considerare come delle induttanze pure. Per quanto la capacità costituita dalle spire di una bobina sia piccola, essa si avvicina all'ordine di grandezza delle capacità dei condensatori impiegati nei circuiti radiotelegrafici. Una bobina si deve quindi considerare come la combinazione in parallelo di una induttanza con una capacità. Si verifica che la capacità C_0 e l'induttanza L di una bobina non variano sensibilmente con la frequenza; quella che varia invece colla frequenza è l'induttanza apparente o equivalente L_a di questa combinazione di induttanza e capacità, come indica la relazione:

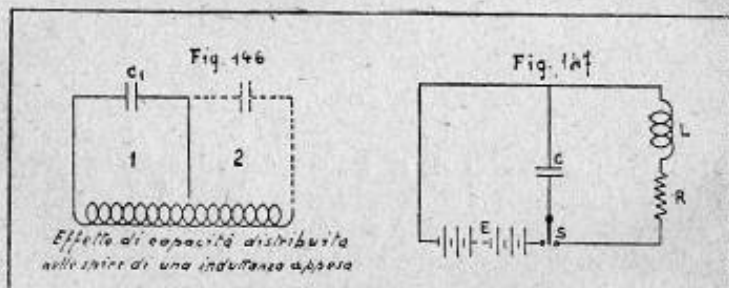
$$L_a = \frac{L}{1 - \omega^2 C_0 L} \tag{77}$$

Il modo di variare di L_a al variare della lunghezza d'onda è rappresentato dalla Fig. 145. In generale la f. e. m. agente in un un circuito r. t. non è prodotta da una sorgente, inserita direttamente nel circuito; ma è applicata per induzione alla bobina d'induttanza. La capacità di questa in tal caso si somma semplicemente alla capacità del condensatore. Se invece la sorgente di f. e. m. è in serie colla bobina, la capacità di questa concorre ad aumentare la resistenza del circuito, e in tal caso l'intensità della corrente diminuisce.

La capacità delle bobine d'induttanza dà luogo frequentemente ad effetti nocivi nei circuiti radiotelegrafici; così la capacità delle spire non inserite in circuito, o spire morte, interviene a far variare la resistenza e la frequenza di risonanza del circuito. La capacità del tratto 2 della bobina rappresentata in Fig. 146 determina ad esempio un accoppiamento stretto fra il circuito 1 ed un secondo circuito; per conseguenza il circuito 1 risponde a due frequenze diverse, e presenta i fenomeni re-

lativi ai circuiti accoppiati, che saranno descritti in seguito nel par. 120.

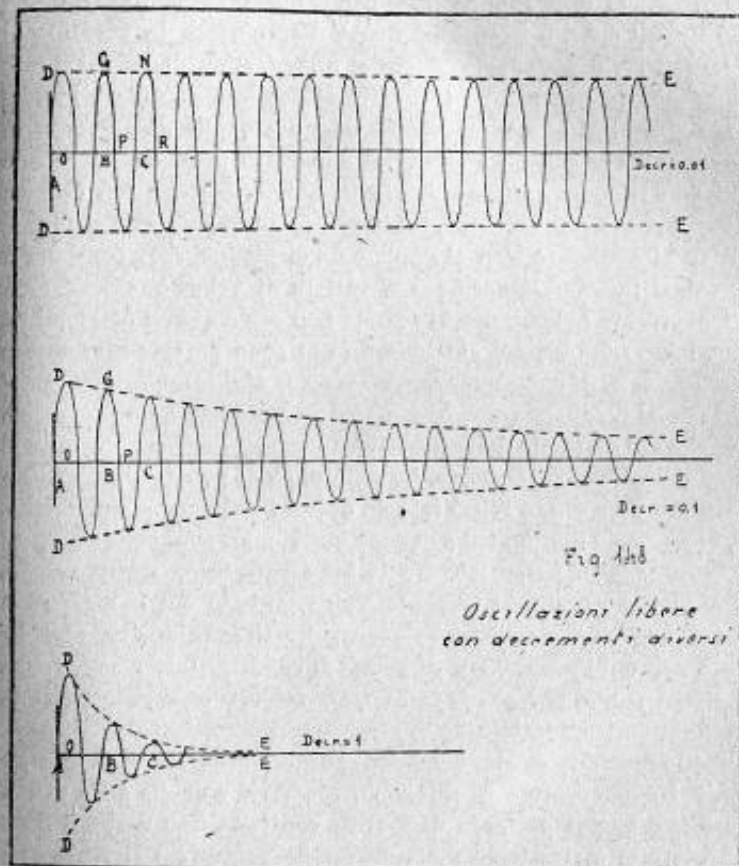
B. Smorzamento.

115. — Oscillazioni libere. — Fino ad ora si è supposto di applicare ai circuiti radiotelegrafici una tensione alternativa di ampiezza costante; e in questa ipotesi abbiamo visto che le correnti alternative, circolanti in essi, sono di ampiezza costante. Queste correnti presentano molta analogia colle oscillazioni forzate prodotte nei sistemi meccanici, ad esempio in un pendolo, quando si imprimano ad essi degli impulsi successivi. Il sistema è obbligato ad oscillare colla frequenza degli impulsi, che riceve.

È però possibile produrre delle correnti oscillanti in un circuito, senza ricorrere ad una sorgente di f. e. m. alternata. Un metodo assai noto consiste nel caricare un condensatore, e nel farlo di poi scaricare sopra un ordinario circuito radiotelegrafico.

Un dispositivo adatto allo scopo è quello rappresentato in Fig. 147. Chiudendo l'interruttore S a sinistra, il condensatore C è caricato dalla batteria E; ma quando l'interruttore si chiude a destra, il condensatore si scarica sul circuito contenente la resistenza R e l'induttanza L. Se la resistenza R non è troppo grande, si innescano nel circuito delle oscillazioni, che però si spengono rapidamente, man mano che l'energia si dissipa in

calore nella resistenza. Come è indicato in Fig. 148, l'ampiezza delle oscillazioni va gradatamente diminuendo.

Per spiegare questo fatto, dobbiamo renderci più esattamente

Fig. 148
Oscillazioni libere con decrementi diversi

ragione di quello, che avviene nel circuito di scarica, a partire dal momento, in cui vi è inserito il condensatore, le cui armature siano state portate ad una certa differenza di potenziale. Quando il condensatore comincia a scaricarsi, dà luogo nel cir-

(1) - Selfinduzione dovuta all'induttanza L

cuito di scarica ad una corrente, e contemporaneamente la differenza di potenziale fra le armature diminuisce. Nell'istante in cui le armature raggiungono lo stesso potenziale, la corrente non cessa, perchè essa rappresenta dell'energia in moto, che non può quindi sparire istantaneamente.(1) Per portare la corrente al valore zero, è necessario opporle una f. e. m. di valore tanto maggiore, quanto più rapidamente si desidera annullare la corrente stessa. È questo un caso analogo a quello di un corpo in movimento: il corpo in virtù del suo moto possiede energia, e non può ridursi istantaneamente in quiete. Quanto più intensa è la forza che gli si oppone, tanto più prontamente esso si ferma; ma se al suo moto non si oppone forza alcuna, esso continua a muoversi indefinitamente senza variare di velocità.

La corrente nel circuito di scarica non cessa quindi nell'istante, in cui le armature del condensatore si sono portate allo stesso potenziale, e, di conseguenza, l'armatura, che originariamente si trovava al potenziale più basso, viene ad assumere un potenziale più elevato di quello dell'altra. Il condensatore comincia a caricarsi nella direzione opposta. La differenza di potenziale fra le armature agisce ora in senso tale da opporsi al passaggio della corrente, la quale diminuisce con continuità, man mano che aumenta la differenza di potenziale fra le armature. Se la resistenza del circuito fosse nulla, la corrente, nell'istante in cui la differenza di potenziale delle armature riassume il valore primitivo, sarebbe nulla e pronta a cambiare di senso. Il condensatore cioè avrebbe la stessa carica che aveva all'inizio, colla sola variante che la differenza di potenziale delle armature avrebbe segno opposto a quello iniziale. Segue a questo punto una scarica di elettricità dal condensatore in direzione contraria a quella della prima scarica, e questa corrente di scarica continua fino a che il condensatore si è ricaricato nella direzione primitiva. Il fenomeno si ripete periodicamente nella maniera descritta.

Possiamo quindi immaginare che nel circuito si abbia un passaggio di elettricità, prima in un senso e poi nell'altro. La corrente ha la massima intensità, quando le armature sono allo stesso potenziale; diviene nulla e comincia quindi a circolare in

senso opposto, nell'istante in cui la differenza di potenziale delle armature raggiunge il suo valore massimo. Questo spostarsi di cariche elettriche nel circuito, alternativamente in un senso e nell'altro, costituisce un' « oscillazione elettrica ». Poichè nessuna sorgente esterna di f. e. m. agisce nel circuito, queste oscillazioni diconsi « oscillazioni libere ».

Sono ben note in meccanica le oscillazioni libere dei corpi. Tali, per esempio, sono le oscillazioni dei pendoli, e le vibrazioni delle molle compresse e poi lasciate scattare. La velocità, colla quale un pendolo si muove, corrisponde, nel caso di oscillazioni elettriche, alla intensità della corrente, mentre l'altezza, che il pendolo raggiunge, corrisponde alla differenza di potenziale delle armature del condensatore. Quando il pendolo ha raggiunto la quota massima, la sua velocità è zero (armature del condensatore alla loro massima differenza di potenziale e corrente nulla): quando il pendolo è alla quota minima, la sua velocità è massima (armature del condensatore allo stesso potenziale e corrente massima). Il pendolo non si ferma quando passa per il punto più basso della sua traiettoria; nè si annulla la corrente nel momento, in cui le armature del condensatore sono allo stesso potenziale. Il pendolo si solleva con una velocità gradatamente decrescente verso un punto, all'altra estremità dell'oscillazione, elevato quanto il punto di partenza: la corrente decresce gradualmente, man mano che il condensatore si carica ad una differenza di potenziale, eguale al valore originario ma di segno opposto. L'oscillazione di ritorno del pendolo corrisponde al passaggio della corrente nella direzione contraria a quella della scarica iniziale.

Un pendolo, che oscillasse nel vuoto senza attrito, continuerebbe a muoversi indefinitamente, e dopo ciascuna oscillazione si ritroverebbe al punto di partenza: analogamente, se il circuito r. t. non avesse resistenza, le oscillazioni elettriche persisterebbero indefinitamente.

In pratica invece le oscillazioni elettriche si spengono rapidamente fino a cessare del tutto, così come avviene delle oscillazioni meccaniche di un pendolo per effetto degli attriti. Poichè

il caso considerato di oscillazioni libere in un circuito esclude qualsiasi interferenza del circuito con agenti esterni al circuito stesso, l'unica energia in giuoco è quella comunicata al circuito all'inizio delle oscillazioni. Da questo istante in poi, qualunque consumo di energia per calore e per irradiazione di onde elettromagnetiche riduce l'energia destinata a mantenere le oscillazioni. Questa diminuzione di energia disponibile si verifica con continuità, e le oscillazioni si smorzano man mano fino a spegnersi. Esse perciò diconsi oscillazioni « smorzate ».

All'inizio si ha disponibile nel circuito una determinata quantità di energia, che è l'energia della carica data al condensatore. Questa energia dipende dalla capacità del condensatore e dal quadrato della differenza di potenziale fra le sue armature (f. e. m. di carica). Essa è immagazzinata nel dielettrico del condensatore, che è in uno stato di deformazione, dovuto alla carica. Appena la corrente comincia a circolare nel circuito, il condensatore cede parte della sua energia al campo magnetico associato alla corrente, campo che è prevalentemente concentrato intorno alla bobina d'induttanza. Man mano che l'intensità della corrente cresce, l'energia posseduta dal condensatore viene accumulandosi nel campo magnetico della bobina. Quando le armature del condensatore sono allo stesso potenziale, tutta l'energia risiede nel campo magnetico della bobina, e non ve n'è affatto nel condensatore. Successivamente, man mano che la corrente decresce, l'energia del campo magnetico viene ad accumularsi nel condensatore, il quale si carica di nuovo.

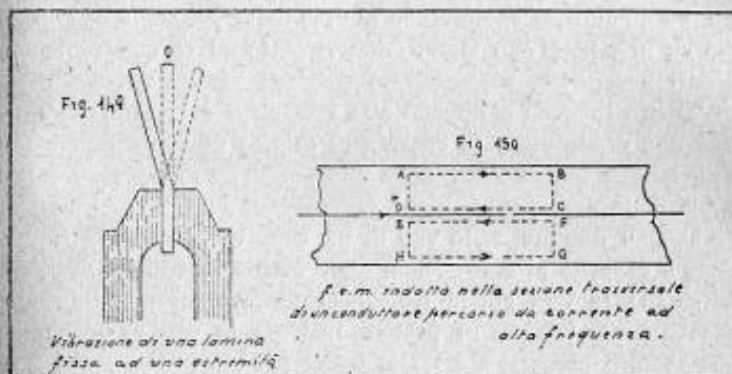
Se la resistenza del circuito fosse nulla e nessuna aliquota dell'energia totale venisse spesa per irradiare le onde o dissipata in altro modo, l'energia in giuoco nel circuito sarebbe una quantità costante. Per effetto delle perdite invece (calore ed onde elettriche), la quantità di energia in giuoco nel circuito (che in ogni istante è data dalla somma di quella esistente nel condensatore e di quella posseduta dal campo) va rapidamente diminuendo. Alla fine tutta l'energia inizialmente data al circuito si è dissipata, e le oscillazioni cessano.

La perdita di energia, che si verifica per effetto Joule in un

circuito, dipende non soltanto dalla intensità della corrente, che lo percorre, ma anche dalla sua resistenza; ed in un circuito radiotelegrafico la resistenza, che si deve considerare, non è la resistenza ohmica pura e semplice, ma una quantità un po' maggiore, che è la « resistenza efficace » (par. 117). Quanto maggiore è la resistenza efficace di un circuito, tanto più forte è la quantità di energia dissipata al secondo, per una data corrente.

La legge di Ohm stabilisce che, per mantenere una corrente I attraverso una resistenza R, è necessaria una f. e. m. RI, che deve essere fornita da una pila, da un generatore, o da un'altra

Vibrazione di una lamina fissa ad una estremità

f.e.m. indotta nella sezione trasversale di un conduttore percorso da corrente ad alta frequenza.

sorgente qualunque. In un circuito oscillante avviene la stessa cosa, e la f. e. m. necessaria, perchè la corrente possa superare la resistenza, non è naturalmente disponibile per caricare il condensatore e dare quindi origine alle oscillazioni. L'ampiezza della corrente oscillante è in questo caso minore di quello che sarebbe, se il circuito fosse senza resistenza. L'ampiezza della f. e. m. esistente fra le armature del condensatore va man mano diminuendo ad ogni scarica, e in questo modo le oscillazioni della corrente si spengono.

Una certa analogia colle oscillazioni elettriche smorzate di un circuito si ha nelle vibrazioni di una lamina flessibile, di cui si

fissi un'estremità in una morsa, indi la si pieghi da un lato e poi si abbandoni a sè stessa (Fig. 149). La lamina vibra da un lato all'altro con ampiezza decrescente fino a che, alla fine, torna in quiete nella sua posizione di riposo O. Quando pieghiamo la lamina da un lato, in essa si accumula dell'energia pari a quella, che abbiamo spesa per produrne la deformazione elastica. Quando poi la lamina è abbandonata a sè stessa, comincia a vibrare ed acquista energia cinetica, mentre l'energia dovuta alla deformazione elastica diminuisce. Se non vi fosse attrito, la perdita di energia potenziale sarebbe compensata esattamente dal guadagno di energia cinetica, e la somma totale dell'energia in giuoco rimarrebbe costante. La lamina, per effetto della sua energia cinetica, si sposterebbe al di là della posizione di quiete, fino ad una posizione simmetrica, rispetto ad O, alla posizione di partenza.

L'attrito tuttavia si oppone alle vibrazioni della lamina e produce una dissipazione di energia in calore; ciascuna escursione della lamina dai due lati della sua posizione di riposo è meno ampia della precedente.

Abbiamo dunque visto che in un circuito contenente induttanza e capacità si stabiliscono delle oscillazioni libere, le quali nel caso ideale in cui la resistenza potesse considerarsi nulla sarebbero persistenti: in pratica tuttavia le oscillazioni libere sono sempre soggette a smorzarsi. Per produrre oscillazioni persistenti, è necessario disporre di una sorgente di energia capace di rimpiazzare continuamente l'energia, che si dissipa nel circuito oscillante. A rigore, oscillazioni libere persistenti non sono realizzabili negli ordinari circuiti r. t. È interessante studiare l'effetto della resistenza sulla rapidità di smorzamento delle oscillazioni.

116. Frequenza, smorzamento e decremento delle oscillazioni libere. — Se la resistenza del circuito oscillante è costante, è possibile calcolare il periodo delle oscillazioni libere del circuito e trovare la legge, secondo la quale le oscillazioni si spengono. Se L, C ed R sono, rispettivamente, l'induttanza, la capacità e

la resistenza, le oscillazioni libere del circuito hanno la frequenza

$$f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}-\frac{R^2}{4L^2}} \qquad (78)$$

che dicesi « frequenza naturale » del circuito. Analogamente nel caso dianzi trattato del pendolo e della lamina, il periodo naturale di vibrazione del sistema dipende dalle dimensioni, dalla natura del materiale e dalle resistenze passive che esso incontra.

Se la quantità $\frac{R^2}{4L^2}$ è eguale o maggiore di $\frac{1}{LC}$ non si possono avere oscillazioni libere: in quest'ipotesi la corrente non è oscillatoria, ma, mantenendosi in un'unica direzione, si va mano a mano spegnendo. Si dice allora che il circuito è « aperiodico ». Nei circuiti radiotelegrafici questo caso si verifica raramente. In generale la quantità $\frac{R^2}{4L^2}$ non solo non è maggiore di $\frac{1}{LC}$, ma è piccolissima in confronto ad essa. Possiamo quindi, di regola, usare senza errore come espressione del periodo naturale di un circuito r. t. la relazione:

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (79)$$

identica a quella della frequenza di risonanza.

La rapidità, colla quale le oscillazioni si spengono, dipende non solamente dalla resistenza, ma anche dall'induttanza del circuito. Quanto maggiore è la resistenza e minore l'induttanza, tanto più rapido è lo smorzamento delle oscillazioni. Se la resistenza, la capacità e l'induttanza hanno dei valori fissi, si può dimostrare che i successivi valori massimi della corrente stanno fra loro in un rapporto costante. Se, per esempio, il secondo massimo è 0,9 del primo, il terzo sarà 0,9 del secondo, etc. Però, invece di adottare questo rapporto, per definire lo smorzamento di un dato circuito, si è trovato più conveniente,

nella teoria matematica dello smorzamento, introdurre il logaritmo naturale del rapporto fra due successivi massimi di corrente, scelti alla distanza di un intero periodo. Questo numero dicesi « decremento logaritmico » o brevemente « decremento ».

Nei casi, in cui la resistenza del circuito non è troppo grande, il decremento è dato da π volte il quoziente della resistenza per la reattanza induttiva, alla frequenza naturale del circuito. Il decremento cioè è eguale a $\pi\left(\frac{R}{2\pi f L}\right)$; cosicchè, aumentando la resistenza o diminuendo l'induttanza, si aumenta in ogni caso il decremento. E poichè la frequenza naturale è praticamente indipendente dalla resistenza, potendosi in generale accettare la relazione (79), la reattanza di capacità è eguale alla reattanza induttiva. Di conseguenza il decremento può anche essere espresso dal prodotto di π per il quoziente fra la resistenza e la reattanza di capacità alla frequenza naturale del circuito.

Esempi di decrementi. — La Fig. 148 dà una rappresentazione grafica di oscillazioni aventi rispettivamente un decremento di 0,01, 0,1 ed 1, quali si hanno in circuiti di smorzamento piccolissimo, moderato e forte. Ogni curva parte dallo stesso massimo di corrente, e la frequenza delle oscillazioni nei tre casi è la stessa, essendo costante il periodo delle oscillazioni, rappresentato dai tratti orizzontali AB, BC etc. La differenza fra le 3 curve è notevole. Nel caso di un decremento di 0,01 le oscillazioni diminuiscono molto gradualmente, e si avvicinano molto al tipo persistente. Nel caso di un decremento 1, le oscillazioni diventano trascurabili dopo solo quattro o cinque periodi. Per costruire curve di questo genere si può seguire il seguente metodo.

Supponiamo che un certo numero di divisioni dell'asse delle ascisse, per esempio cinque, rappresenti il periodo delle oscillazioni. La nostra curva deve allora tagliare l'asse delle ascisse ogni due divisioni e mezza. Si scelga un conveniente numero di divisioni dell'asse delle ordinate per rappresentare il primo massimo di corrente, per esempio, dieci. Le curve DE (fig. 148) hanno la proprietà che l'ampiezza dei massimi successivi decresce,

per eguali intervalli orizzontali di un periodo, delle stesse frazioni del massimo iniziale.

Sia ad es. 0,1 il decremento; poichè 0,1 è il logaritmo naturale di 1,105, il primo massimo positivo OD è 1,105 volte il massimo positivo successivo PG, e così via. Se quindi prendiamo $OD=10$ divisioni, PG sarà $\frac{10}{1{,}105}=9{,}05$ divisioni, RH sarà $\frac{9{,}05}{1{,}105}=8{,}19$, etc. Le oscillazioni devono essere tutte inviluppate dalle due curve DE; perciò, trovati i punti di intersezione coll'asse delle ascisse ed i valori dei massimi successivi, non è difficile avviare a mano libera la curva delle oscillazioni, tenendo presente che le anse sono di forma approssimativamente sinoidale.

Numero delle oscillazioni. — Sebbene, a rigore, le oscillazioni non si spengano completamente che dopo un tempo infinito, esse diventano trascurabili dopo un certo tempo. La conoscenza del decremento logaritmico ci permette di calcolare quante oscillazioni complete si hanno in un circuito, prima che la loro ampiezza scenda al di sotto di quella iniziale di una determinata quantità. Questo numero è tanto più elevato quanto minore è il decremento.

Se, per esempio, vogliamo calcolare il numero delle oscillazioni, che si hanno in un circuito, prima che il valore massimo della corrente scenda al disotto di un centesimo del valore iniziale, dobbiamo semplicemente fare il quoziente del logaritmo naturale di 100 per il decremento. Il logaritmo naturale di 100 è circa 4,6. Il numero delle oscillazioni è quindi dato dal rapporto fra 4,6 ed il decremento. Così, nei tre casi indicati nella Fig. 148, si hanno rispettivamente 460, 46 e 4,6 oscillazioni complete, in corrispondenza ai decrementi 0,01, 0,1 ed 1. I decrementi possono assumere anche valori elevati; ma, ad evitare interferenze fra le trasmissioni a grande smorzamento e le altre, si usa in pratica non superare il valore di 0,2, cui corrisponde un numero di oscillazioni complete, calcolato colla regola precedente, pari a 23.

Il decremento dà un'idea del rendimento di un apparato tra-

smettente. Minore è il decremento, più acuta è la sintonia, e quindi maggiore l'aliquota di energia irradiata, che si può utilizzare negli apparati riceventi. Maggiore è il decremento, più notevole è l'aliquota di energia, che non serve a scopo utile alcuno, e che anzi disturba le altre trasmissioni.

Nel caso di apparati a scintilla, il concetto di decremento logaritmico non si può applicare a rigore, poichè, per effetto della resistenza variabile della scintilla, le oscillazioni si smorzano secondo una legge diversa da quella esposta.

C. Resistenza.

117. Resistenza efficace dei conduttori. — Applicando alle estremità di un conduttore una f. e. m. continua, la corrente si porta rapidamente al suo valore di regime, definito dalla legge di Ohm, e si distribuisce uniformemente sulla sezione trasversale del conduttore stesso. Però durante l'intervallo, che decorre fra il momento, in cui la f. e. m., è applicata, a quello in cui la corrente raggiunge il suo valore di regime, la distribuzione della corrente sulla sezione trasversale del conduttore non è uniforme; e ciò per effetto della f. e. m. di autoinduzione, che si manifesta nelle sezioni trasversali del conduttore stesso. Consideriamo una sezione trasversale di un conduttore cilindrico, e supponiamo che la f. e. m. applicata tenda a produrre una corrente nella direzione della freccia (Fig. 150). Nella sezione considerata le linee di flusso magnetico saranno dei cerchi, in piani normali all'asse, coi loro centri sull'asse stesso: e saranno dirette dal di dietro al davanti del foglio, nella mezza sezione al disopra dell'asse, e dal davanti al di dietro del foglio nella mezza sezione al di sotto dell'asse. Man mano che la corrente aumenta, cresce il numero delle linee di forza, che attraversano due zone qualunque della sezione, come $ABCD$ ed $EFGH$, e, per la legge di Lenz (par. 45), la variazione del numero delle linee di forza produce un aumento della f. e. m. indotta, che tende ad opporsi alle variazioni del campo. La direzione della f. e. m. indotta nei singoli tratti dei circuiti considerati sarà quella indicata dalle

frecce; ed è facile vedere che l'aumento di corrente è agevolato nelle zone della sezione trasversale, che sono vicine alla superficie del conduttore, ed è invece ostacolato nelle parti più vicine all'asse. La corrente cioè raggiunge lungo l'asse l'intensità di regime più tardi che alla periferia. Viceversa, se si interrompe il circuito, dopo che la corrente ha assunto una distribuzione uniforme, le parti più esterne del conduttore restano per prime prive di corrente.

Si può descrivere il fenomeno, dicendo che, quando si applica una f. e. m. ai terminali di un conduttore, la corrente si propaga dagli strati esterni del filo agli interni, e raggiunge all'interno il valore, che ha alla superficie del conduttore, solo dopo un intervallo finito di tempo.

Quando si applica ad un conduttore una f. e. m. rapidamente alternativa; *(a)* la corrente all'interno del conduttore resta in ritardo di fase su quella alla periferia, di un angolo, che è tanto maggiore quanto più vicino all'asse è il punto considerato; *(b)* l'ampiezza della corrente è maggiore alla periferia e diminuisce man mano che ci si avvicina all'asse, dove essa non fa a tempo a raggiungere il suo valore di regime, perchè prima interviene una nuova variazione della f. e. m. Questa disuniformità della distribuzione della corrente in una sezione trasversale costituisce l'effetto della pelle (skin effect), ed equivale ad una riduzione della sezione trasversale del conduttore con conseguente aumento della sua resistenza.

Da queste considerazioni si deduce che l'effetto della pelle dipende non solo dalla frequenza, ma anche dalla sezione del conduttore: esso è tanto più notevole, quanto più grosso è il conduttore, ed inoltre quanto più grande è la permeabilità e la conduttività del materiale di cui è costituito; perchè più il conduttore è grosso, maggiore è l'intervallo di tempo, che deve trascorrere, prima che lungo l'asse sia risentita una variazione di f. e. m., e quindi meno uniforme è la densità di corrente in differenti punti della sezione trasversale. A parità di dimensioni, maggiore è la permeabilità del filo, più intensa è la f. e. m.

indotta. Migliore è la conduttività, minore è il rapporto fra la corrente superficiale e quella totale.

Solo in alcuni casi speciali è possibile mettere a calcolo l'« effetto della pelle ». D'ordinario si ricorre all'uso di tabelle, che danno il diametro, che un filo di un determinato materiale deve avere, perchè l'aumento di resistenza, dovuto all'effetto della pelle, non ecceda l'1% del valore della resistenza con corrente continua. Si usano ad es. queste tabelle, per calcolare la sezione del filo da impiegare in un amperometro a filo caldo, perchè la sua resistenza praticamente non vari entro i valori limiti di frequenza, a cui l'amperometro deve funzionare. Nei fili di diametro maggiore l'effetto della pelle è assai intenso, e non sono rari i casi, nei quali la resistenza ad alta frequenza è cinque o dieci volte il valore di quella con corrente continua. Si deve tener presente quanto sopra nel calcolare la corrente, che un conduttore può sopportare senza inconvenienti. Si definisce come « resistenza efficace » il valore, che la resistenza assume alla frequenza, che si considera. A parità di riscaldamento, la corrente ammissibile in un circuito ad alta frequenza, è minore di quella continua, tollerabile nello stesso circuito, nel rapporto della radice quadrata del quoziente della resistenza efficace a quella ohmica.

Poichè l'effetto della pelle tende ad inutilizzare, per il trasporto della corrente, la parte interna della sezione trasversale di un filo, i conduttori, che si prestano a trasportare correnti di frequenza radiotelegrafica, hanno la forma di tubi di piccolo spessore: o sono costituiti da cilindri di materiale a limitata conduttività, rivestiti di uno strato di materiale di conduttività elevata. Infatti un conduttore tubolare, di uno spessore limitato in confronto al suo diametro, ha, a parità di sezione trasversale, una resistenza ad alta frequenza inferiore a quella opposta da ogni altro conduttore di forma diversa.

Spesso, per ridurre l'effetto della pelle, si utilizzano conduttori costituiti da molte sottilissime trecce di filo. La resistenza di un sistema conduttore di questo genere è però assai più notevole di quella di una treccia unica, a cagione della mutua in-

duzione delle trecce fra loro. Per diminuirla, conviene tenere le trecce quanto più è possibile lontane, e limitare il diametro di ciascuna treccia a non più di circa 0,1 mm. La forma più conveniente di conduttore a treccia, la quale però richiede una costruzione piuttosto laboriosa, è quella in cui le trecce sono avvolte in modo da costituire un tubo vuoto.

Resistenza efficace. — La resistenza di un circuito ad alta frequenza non è mai eguale a quella misurata con corrente continua. Per ottenere il valore della resistenza ad alta frequenza, si deve dividere la potenza, consumata in calore o altrimenti dissipata, per il quadrato della corrente efficace. Questo quoziente dicesi « resistenza efficace » alla frequenza che si considera.

La resistenza efficace di un circuito, percorso da correnti di frequenza radiotelegrafica, può essere notevolmente influenzata dalla presenza di corpi conduttori vicini. Le correnti parassite, che si inducono in questi ultimi, rappresentano energia sottratta al circuito, la cui resistenza efficace viene per tal fatto accresciuta. Per effetto della frequenza elevata, l'effetto d'induzione può essere notevole, se i materiali in presenza sono buoni conduttori, ed è ancora sensibile, anche se la loro conduttività è assai scarsa, caso che ad esempio si verifica, quando in vicinanza del circuito si abbiano delle superficie dipinte.

I vari tratti di uno stesso circuito non devono mai essere in immediata vicinanza fra loro. Gli effetti d'induzione mutua delle correnti, che percorrono in direzioni opposte due fili cilindrici paralleli sono ad esempio tali che la corrente si addensa nelle zone dei due conduttori, che risultano più vicine: e la resistenza efficace di ciascun conduttore risulta assai più elevata di quella, che si avrebbe nel caso di conduttori isolati. In altri casi, la resistenza efficace di un conduttore può essere ridotta dalla presenza di un altro conduttore. Un esempio importante degli effetti della mutua induzione sulle resistenze efficaci di conduttori vicini si ha in un sistema di fili paralleli collegati in parallelo: alle frequenze radiotelegrafiche, nei fili esterni si hanno correnti notevolmente più intense che in quelli interni.

Questa constatazione non va trascurata nel progettare amperometri a filo caldo, destinati a portare correnti elevate.

118. **Resistenza della scintilla, del dielettrico, degli effluvi e di radiazione.** — Come già si disse (par. 31 e 58), nessun materiale è un dielettrico perfetto. Possiamo artificialmente rappresentare un condensatore come equivalente ad una capacità pura in serie con una resistenza. L'inserzione di un condensatore in un circuito radiotelegrafico ha quindi in generale l'effetto di aumentare la resistenza efficace del circuito in misura sensibile; solo se si tratta di condensatori ad aria, l'aumento è trascurabile. Si devono perciò allontanare dalle regioni di campo elettrico intenso i materiali, che non sono dei buoni dielettrici.

Quando i condensatori lavorano a tensioni elevate, si possono verificare delle perdite notevoli di energia per effetto degli effluvi, che si manifestano agli orli delle armature; e questo effetto produce generalmente un notevole aumento della resistenza efficace dei condensatori stessi.

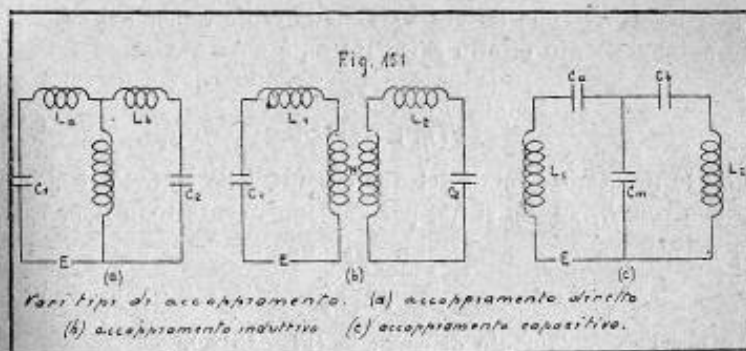
Se il circuito contiene uno spazio spinterometrico, la resistenza della scintilla viene ad accrescere la resistenza efficace del circuito. La resistenza offerta dalla scintilla dipende da una quantità di circostanze diverse, e la legge, che ne definisce le variazioni, è assai complessa. In generale uno spazio spinterometrico assai corto ha, per unità di lunghezza, una conducibilità maggiore di quella offerta da un intervallo spinterometrico lungo. Così una serie di piccoli intervalli spinterometrici offre una resistenza inferiore a quella di un unico intervallo di lunghezza eguale alla somma delle lunghezze dei singoli intervalli. La natura e la pressione del gas interposto fra le palline dello spinterometro influiscono pure sulla resistenza, che diminuisce al diminuire della pressione. Inoltre il tipo e la forma dei terminali dello spinterometro e le costanti di tutto il circuito influiscono pure sulla resistenza della scintilla.

Una parte della potenza, fornita ad un circuito, percorso da correnti radiotelegrafiche, è irradiata dal circuito sotto forma di onde elettromagnetiche (cap. 4). Questa parte rappresenta la potenza utile, che si ricava dal circuito; e, agli scopi della trasmis-

sione radiotelegrafica, la potenza irradiata dovrebbe essere quanto maggiore è possibile, in confronto della potenza consumata nel circuito stesso, e nel suo intorno immediato. La potenza irradiata ad una data frequenza risulta proporzionale al quadrato della corrente, cosicchè l'effetto irradiante può considerarsi come un'altra causa indiretta di aumento della resistenza efficace del circuito. Questo aumento fittizio di resistenza chiamasi « resistenza di radiazione », ed è direttamente proporzionale al quadrato della frequenza, o inversamente proporzionale al quadrato della lunghezza d'onda.

D. Accoppiamento dei circuiti.

109. **Vari tipi di accoppiamento.** — Quando due circuiti hanno qualche tratto in comune, o sono collegati attraverso un campo ma-

Vari tipi di accoppiamento. (a) accoppiamento diretto (b) accoppiamento induttivo (c) accoppiamento capacitivo.

gnetico od elettrico, diconsi « accoppiati ». Se la parte in comune è un'induttanza (Fig. 151-a), si dice che i due circuiti sono ad « accoppiamento diretto ». Nella Fig. 151-c il tratto in comune è costituito da una capacità, fornendo un esempio di « accoppiamento di capacità ». Nel caso importante, in cui tra due circuiti si ha mutua induzione (Fig. 151-b), i due circuiti diconsi « accoppiati induttivamente ». Più di rado l'accoppiamento è del tipo « elettrostatico »; e in questo caso le armature di un con-

densatore inserito nel primo circuito sono infrapposte a quelle di un altro condensatore appartenente ad un secondo circuito.

Si suole chiamare circuito « primario » quello, a cui è applicata la f. e. m., mentre l'altro si considera come circuito « secondario ». Quando due circuiti sono accoppiati, reagiscono l'uno sull'altro, cosicchè la corrente in ciascuno di essi non è più quella, che si aveva, quando i due circuiti non erano in presenza. La reazione però è di grado differente a seconda del tipo di accoppiamento. Due circuiti diconsi « accoppiati strettamente », quando ogni variazione di corrente in uno di essi produce notevoli effetti sull'altro. Quando un circuito è poco influenzato dall'altro, l'accoppiamento si dice « lasco ». L'accoppiamento induttivo di due circuiti si può rendere meno stretto, aumentando la distanza fra le due spirali d'induttanza.

Una misura più esatta del grado di accoppiamento di due circuiti è data dal loro « coefficiente di accoppiamento » (indicato ordinariamente colla lettera k). La sua espressione, nel caso di un accoppiamento diretto (Fig. 151-a), è data da:

$$k = \frac{M}{\sqrt{(L_a + M)(L_b + M)}} \tag{80}$$

Se le induttanze totali dei due circuiti della Fig. 151-b si indicano con L_1 ed L_2, si ha, per l'accoppiamento induttivo,

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \tag{81}$$

e per l'accoppiamento di capacità (Fig. 151-c),

$$k = \sqrt{\frac{C_a C_b}{(C_a + C_m)(C_b + C_m)}} \tag{82}$$

Man mano che l'accoppiamento si allasca, k si avvicina a zero; al limite, coll'accoppiamento più stretto possibile, k sarebbe eguale ad 1.

L'accoppiamento diretto di due circuiti si può accrescere, aumentando il numero di spire di induttanza, che sono comuni ai

due circuiti, senza alterare le induttanze totali $(L_a + M)$ ed $(L_b + M)$ dei due circuiti stessi. Per rendere più stretto l'accoppiamento di circuiti accoppiati induttivamente, si aumenta la loro induzione mutua, avvicinandoli, o accrescendo l'induttanza di ciascuno di essi. Si può ad esempio aumentare il coefficiente di accoppiamento di un'antenna, aggiungendo delle spire al primario del jigger, e contemporaneamente diminuendo l'induttanza di qualche altro tratto del circuito di carica, così da non variare l'induttanza totale del circuito. L'accoppiamento capacitivo è tanto più stretto, quanto minore è la capacità comune C_m in confronto alle capacità C_a e C_b.

In alcuni tipi di ricevitori il condensatore di accoppiamento è inserito in modo differente da quello indicato in Fig. 151-c (par. 177), e in questo caso l'accoppiamento si può rendere più lasco, diminuendo la capacità del condensatore di accoppiamento.

La reazione di un circuito sull'altro non soltanto fa variare l'intensità della corrente nelle due bobine, come sembrerebbe a prima vista, ma ha un effetto notevole anche sulla frequenza, a cui i due circuiti rispondono più energicamente, come si dirà in appresso.

120. **Doppia ansa delle curve di risonanza.** — Si può dimostrare che la reattanza di ciascuno dei due circuiti, primario o secondario è nulla, ossia che l'impedenza è minima, per due frequenze f' f'', diverse dalle frequenze naturali f_1 ed f_2, per le quali i circuiti primario e secondario sono in risonanza, quando presi separatamente. Con accoppiamento lasco, f' ed f'' differiscono poco da f_1 ed f_2. Con accoppiamento stretto invece la differenza è notevole. Se con f' si indica la più bassa di queste due frequenze, si può dimostrare che f' è sempre meno elevata della minore delle due frequenze naturali f_1 ed f_2, mentre la frequenza più alta f'' è sempre più elevata della più alta delle due frequenze naturali. Stringendo ancora l'accoppiamento, si ha l'effetto di allontanare f' da f''. Inoltre, la differenza fra f'' e la più alta delle due frequenze naturali è sempre maggiore della corrispondente differenza fra f' e la più bassa delle frequenze naturali stesse.

Queste deduzioni si possono sperimentalmente verificare per mezzo di un cimometro. Come già si è detto (par. 112), la corrente indotta in un circuito cimometrico è massima, quando il cimometro è sintonizzato per la frequenza della corrente di eccitazione. Si supponga che il cimometro sia accoppiato in maniera molto stretta a uno dei due circuiti primario o secondario. Si faccia variare a piccoli salti la frequenza della corrente nel primario, e si regoli per ciascuna frequenza il condensatore del cimometro, fino a che l'amperometro indichi la massima corrente. Se si riportano in un diagramma come ascisse i valori della capacità del condensatore del cimometro e come ordinate le deviazioni corrispondenti dell'amperometro, si ottiene una curva di risonanza che presenta due anse in corrispondenza delle frequenze f' e f''. Rilevando una seconda curva di risonanza, per un accoppiamento diverso fra il primario e il secondario, la posizione delle due anse si sposta. L'accoppiamento fra il circuito cimometrico ed il circuito di eccitazione deve essere il più lasco possibile, onde evitare che il circuito cimometrico possa sensibilmente reagire sugli altri circuiti e far variare di conseguenza le correnti, che li attraversano.

Un metodo più diretto, per mettere in evidenza le due frequenze, si ha inserendo un amperometro a filo caldo o una coppia termoelettrica nel circuito in prova, e registrando le indicazioni dello strumento, man mano che la frequenza varia.

Nei circuiti radiotelegrafici ordinari, il primario e il secondario si sintonizzano separatamente per la stessa frequenza. Si rende cioè f_1 eguale a f_2. Con accoppiamento lasco, f' ed f'' assumono entrambi uno stesso valore intermedio; e con accoppiamento molto lasco, $f'=f''=f_1=f_2$.

Si potrebbe supporre che, nel caso particolare in cui $f_1=f_2$, le correnti nei due circuiti dovessero essere massime in corrispondenza di una frequenza unica, quella di sintonia. Invece sia l'esperienza che la teoria dimostrano che, anche in questo caso, ciascuno dei due circuiti offre un'impedenza minima a due frequenze diverse, esattamente come si verifica nel caso più generale. Le due frequenze f' ed f'' sono l'una maggiore e l'altra

minore di f, per quanto non della stessa quantità, perchè la differenza $f''-f$ è sempre maggiore di $f-f'$.

Quando $f_1=f_2$, le espressioni di f' ed f'' divengono:

$$f'=\frac{f}{\sqrt{1+k}}, \quad f''=\frac{f}{\sqrt{1-k}}$$

Se l'accoppiamento si fa ancora più lasco, le due frequenze f' ed f'' si avvicinano, e le due anse delle curve di risonanza finiscono per coincidere e si confondono in un'ansa unica.

Se nel circuito secondario non circola corrente, manca la reazione del secondario sul primario, e questo si comporta come un circuito non accoppiato, in risonanza quindi solo per una frequenza unica (per ipotesi f). Le stesse considerazioni si applicano al secondario, quando il circuito primario è interrotto.

Per trattare ulteriormente l'argomento dell'accoppiamento dei circuiti dovremo distinguere due casi: 1) che il circuito primario sia eccitato da una f. e. m. sinoidale di una determinata frequenza, 2) che al circuito primario sia dato soltanto un impulso di corrente e sia poi lasciato oscillare liberamente.

121. **Oscillazioni forzate.** — Quando al primario si applica una f. e. m. sinoidale di frequenza f, le correnti nei due circuiti, primario e secondario, sono dapprima di natura assai complessa, per il fatto che le oscillazioni libere di frequenza f' ed f'' si sovrappongono alle oscillazioni forzate di frequenza f. Le oscillazioni libere si spengono rapidamente sia nel primario che nel secondario, e permangono solo le correnti sinoidali di frequenza f.

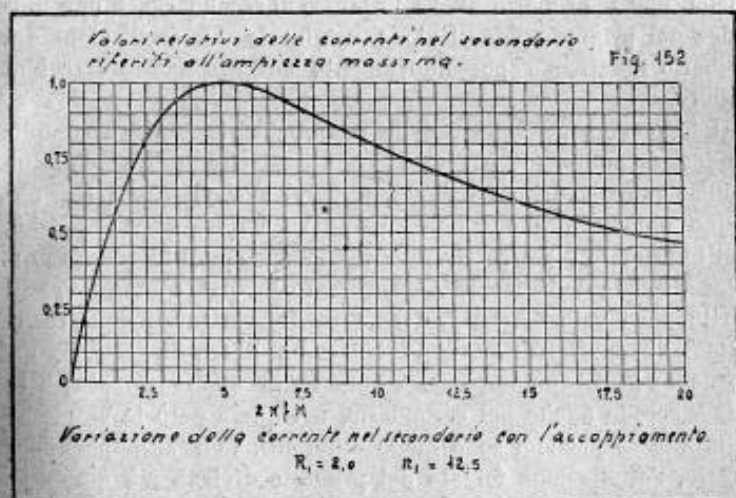
Trasformatore ad alta frequenza. — Si può dimostrare che il valore massimo della corrente nel circuito secondario si ha per un determinato accoppiamento delle bobine d'induttanza; per accoppiamenti più stretti o più laschi, l'intensità della corrente nel secondario diminuisce. Il grado di accoppiamento, cui corrisponde nel secondario il valore massimo di corrente, dipende in generale dalle resistenze del primario e del secondario e dalle loro reattanze, e si può più facilmente realizzare in pratica per successivi tentativi che con procedimenti di calcolo. In un caso

importante, tuttavia, sia il grado di accoppiamento che il valore massimo della corrente nell'avvolgimento secondario possono esser espressi da due relazioni assai semplici.

Se ciascuno dei due circuiti, primario e secondario sono sintonizzati alla frequenza della f. e. m. alternativa applicata E, il valore massimo di corrente nel secondario è $I_2 = \frac{E}{2\sqrt{R_1 R_2}}$, dove R_1 ed R_2 sono le resistenze dell'induttanza primaria e secondaria. In corrispondenza di questo valore massimo di corrente, si ha una mutua induzione, espressa dalla relazione $2\pi f M = \sqrt{R_1 R_2}$. La corrente nel primario assume in queste condizioni l'intensità $I_1 = \frac{E}{2R_1}$; che è la metà del valore della corrente nel primario portato alla risonanza, quando il secondario manca.

Queste relazioni ed il modo di variare della corrente nel secondario in funzione del grado di accoppiamento, ossia della mutua induzione degli avvolgimenti, sono illustrate dalla Fig 152. Per le resistenze si sono scelti i valori $R_1 = 2{,}0$ ed $R_2 = 12{,}5$ ohm, ed il valore massimo della corrente nel secondario si è assunto eguale ad 1. Sull'asse delle ascisse si sono riportati non i valori della mutua induzione, ma quelli dell'espressione $2\pi f M$, cosicchè la curva è valevole anche per frequenze differenti, purchè, in ogni caso, la frequenza considerata sia quella a cui i due circuiti sono sintonizzati. Nell'esempio trattato, il valore massimo di corrente nel secondario si ha in corrispondenza del valore $2\pi f M = \sqrt{2{,}0 \times 12{,}5} = 5$. Se supponiamo che la frequenza sia 100,000, le due bobine debbono essere accoppiate in modo da realizzare un'induttanza mutua di $\frac{5}{2\pi \times 100{,}000}$, o 7,96 microhenry.

Rapporto fra correnti e tensioni. — In un trasformatore ad alta frequenza, regolato in modo da dare nel secondario un massimo di corrente, abbiamo visto che la corrente secondaria sta a quella primaria nel rapporto $\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$; cosicchè il valore di questo rapporto si può far crescere, sia diminuendo la resistenza nel secondario, che aumentando quella del primario.

Il rapporto delle tensioni è, in generale, più complesso. Se le due correnti sono sintonizzate per la frequenza della f. e. m. applicata al primario, il rapporto della tensione secondaria a quella primaria si approssima tanto più al valore $\sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$, quanto più piccole sono le resistenze nei due circuiti. Se i circuiti non sono sintonizzati per la stessa frequenza e sono accoppiati strettamente, il rapporto delle tensioni si avvicina al rapporto del numero delle spire, quando la resistenza dei due circuiti è trascurabile, come avviene negli ordinari trasformatori a corrente alternata.

122. Oscillazioni libere nei circuiti accoppiati, a piccolo smorzamento. — Supponiamo di dare in un certo istante al condensatore del circuito primario una determinata carica, e di chiudere il circuito primario o direttamente, o attraverso uno spazio spinterometrico. Se il circuito secondario è aperto, il primario oscillerà liberamente, la frequenza della corrente sarà data

dall'espressione $f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$, e lo smorzamento delle oscillazioni sarà espresso dal rapporto $\frac{R_1}{2\pi f L_1}$, come si disse nel par. 116.

Appena si chiude il secondario, il fenomeno si complica per la reazione del circuito secondario sul primario. Per effetto delle variazioni della corrente nel primario, si induce nel secondario una f. e. m., e di conseguenza ha inizio nel secondario una oscillazione forzata. Il condensatore inserito nel circuito secondario è caricato da questa corrente, e dà luogo ad una oscillazione libera, il cui periodo dipende dalle costanti del circuito. Per induzione si avrà nel primario un'oscillazione forzata, analoga a quella, che il primario aveva impresso al secondario, e che modifica nel primario l'oscillazione originaria. Le oscillazioni del primario reagiscono poi nuovamente sul secondario e così di seguito.

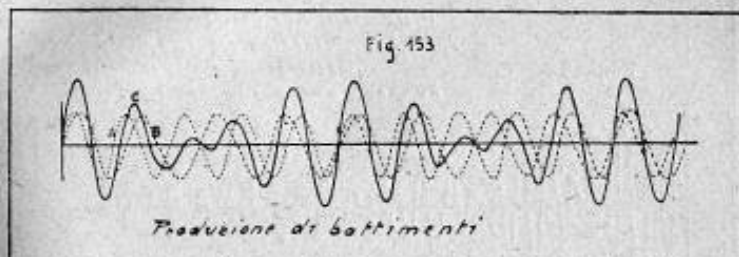
Il fenomeno, per effetto delle reciproche reazioni, va complicandosi di molto, ma è evidente che ogni circuito è sede di due oscillazioni, una libera e l'altra forzata. L'oscillazione, che abbiamo chiamata libera, non lo è però completamente, poichè, nell'imprimere all'altro circuito un'oscillazione di frequenza propria, gli cede dell'energia. Questo fatto ha per conseguenza di modificare i valori f_1 ed f_2 delle frequenze naturali delle oscillazioni libere. Nel primario l'oscillazione libera ha (con accoppiamento lasco) un'ampiezza maggiore di quella forzata; e lo stesso accade anche nel secondario, nel quale però le ampiezze delle due oscillazioni sono meno differenti. Con accoppiamento stretto, l'oscillazione forzata del primario diviene più ampia in relazione all'aumentata ampiezza dell'oscillazione libera nel secondario. Infine con accoppiamento molto stretto, predominano le oscillazioni di frequenza f': le oscillazioni di frequenza f'' sono invece assai deboli, poichè questa frequenza è tanto diversa da quella naturale di ciascun circuito.

In generale, quindi, nel circuito primario e nel secondario si ha un'oscillazione risultante di due oscillazioni smorzate di frequenze differenti. È interessante studiare un po' più da vicino

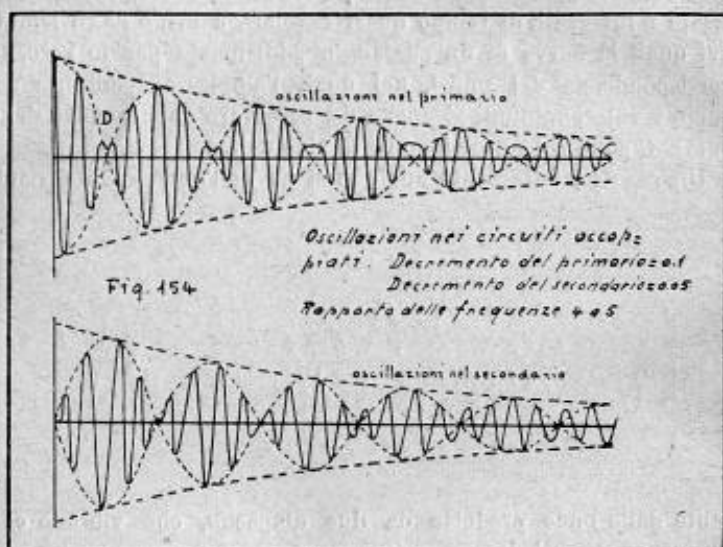
la natura delle oscillazioni complesse, risultanti dalla sovrapposizione in un solo circuito di due oscillazioni di frequenze diverse.

Curve di smorzamento dei circuiti accoppiati. — La Figura 153 rappresenta due oscillazioni sinoidali A e B di ampiezze eguali, ma di frequenze diverse. La curva C si ottiene, facendo la somma algebrica delle ordinate di A e B: in essa l'ampiezza delle oscillazioni alternativamente aumenta e diminuisce. La frequenza delle oscillazioni nella curva C è eguale alla differenza delle frequenze delle oscillazioni di A e B. La curva C taglia l'asse dei tempi a intervalli di tempo quasi regolari, a meno degli istanti nei quali la curva fa un passaggio addizionale per lo zero, in corrispondenza dei punti, nei quali l'ampiezza risultante assume i valori minimi. È anche da osservare che le anse della curva C sono solo prossimamente sinoidali.

Un caso perfettamente analogo si ha nell'onda sonora risul-

tante delle onde prodotte da due diapason, che vibrano con frequenze un po' diverse.

Il suono, che si ode, ha un'intensità, che alternativamente aumenta e diminuisce, presentando il fenomeno dei « battimenti ». Il numero dei battimenti al secondo è eguale alla differenza delle frequenze dei due diapason. Così, se i diapason hanno rispettivamente la frequenza di 259 e 255 vibrazioni al secondo, il suono risultante ha quattro battimenti al secondo. Le oscillazioni libere dei circuiti accoppiati sono smorzate, cosicchè la oscillazione risultante si spegne (par. 116) attraverso a una serie

di valori alternativamente crescenti e decrescenti. La Fig. 154 rappresenta le oscillazioni smorzate di due circuiti, primario e secondario, aventi rispettivamente il decremento 0,1 e 0,05. Si suppone che le due frequenze coesistenti stieno nel rapporto di 4 a 5. La curva a tratto pieno rappresenta l'oscillazione risultante: le curve punteggiate mettono in evidenza i battimenti sopra descritti, mentre le curve tratteggiate danno rilievo al fenomeno dello smorzamento. È da osservare che la corrente nel primario raggiunge i suoi valori massimi negli istanti, in cui la

Fig. 154

corrente nel secondario è nulla e viceversa. Inoltre, in corrispondenza ad ampie oscillazioni del primario, si hanno deboli oscillazioni nel secondario e viceversa, etc.

Un'altra conclusione importante, che si può trarre dall'esame della Fig. 154, è che l'energia del sistema, costituito dai due circuiti accoppiati, è trasmessa alternativamente dall'uno all'altro; di guisa che in alcuni istanti l'energia del sistema è esclusivamente nel primario, in altri completamente nel secondario, e

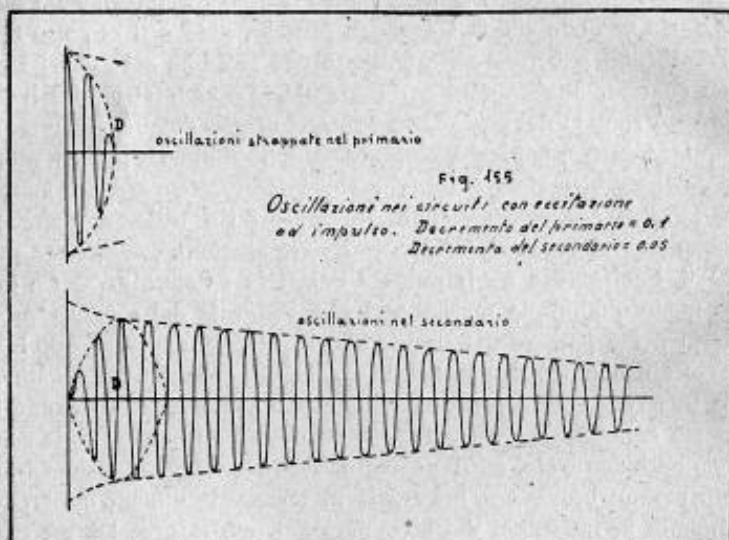
negli intervalli intermedii parte nel primario e parte nel secondario. Questo passaggio di energia, prima in un senso e poi nell'altro, dimostra che il primario ed il secondario funzionano alternativamente da circuito attivo.

Dal punto di vista della radiazione, è desiderabile impedire il ritorno dell'energia dal secondario al primario. Poichè il primario è un circuito chiuso, esso irradia pochissima energia (par. 136); non si ha quindi alcun vantaggio a consentire che l'energia dal secondario ritorni nel primario, dove in gran parte si trasforma in calore. È inoltre da evitare l'irradiazione dal secondario di onde a due frequenze diverse, poichè il circuito ricevente non può essere sintonizzato che per una sola di esse e non contemporaneamente per entrambe. La suddivisione dell'energia irradiata dal secondario in onde di due frequenze diverse è quindi dannosa, perchè soltanto le onde della frequenza, alla quale il circuito ricevente viene sintonizzato, sono efficaci, mentre le altre non solo non hanno alcun effetto utile, ma anche possono produrre interferenze con altre stazioni.

123. Eccitazione ad impulso - Scintilla strappata. — Se in un modo qualunque facciamo si che l'energia del circuito primario possa passare nel secondario, e prima che il passaggio inverso abbia luogo, sopprimiamo fra i due circuiti ogni legame, gli inconvenienti sopradetti si possono evitare. Realizzandosi questa condizione, il secondario oscillerà semplicemente colla sua frequenza naturale, ed il primario cederà energia al secondario solo per un brevissimo intervallo di tempo. Scegliendo opportunamente la resistenza del secondario, si può ridurre ad un valore esiguo lo smorzamento delle onde irradiate; e poichè queste hanno tutte una frequenza unica, si può anche realizzare il vantaggio di un'acuta sintonia. Questo metodo di eccitazione chiamasi « eccitazione ad impulso », e presenta qualche analogia col fenomeno, che si verifica in meccanica, quando ad un corpo, suscettibile di vibrare, si imprime un leggero impulso, per una volta sola. Esso compie delle vibrazioni, il cui periodo dipende esclusivamente dalle sue costanti di inerzia e di elasticità, e non dalla natura del corpo, dal quale l'impulso è provenuto.

Uno dei sistemi di eccitazione ad impulso del secondario consiste nell'inserire nel primario tanta resistenza, che la corrente in esso si spenga aperiodicamente (par. 116). Con questo metodo si ha però lo svantaggio che nel primario una notevole aliquota di potenza si dissipa in calore. Un dispositivo più soddisfacente è quello a « scintilla strappata ». Dividendo lo spazio spinterometrico del circuito primario in un certo numero di spazi spinterometrici brevissimi, in serie, l'ampia superficie metallica dei successivi spinterometri si presta a dissipare con facilità il ca-

Fig. 155

Oscillazioni nei circuiti con eccitazione ad impulso. Decremento del primario = 0.1
Decremento del secondario = 0.05

lore della scintilla di scarica. In uno spinterometro di questo tipo, se progettato convenientemente, si riesce a impedire il riinnescarsi della scintilla di scarica, nell'istante in cui le oscillazioni primarie, dopo avere raggiunto la loro massima ampiezza, sono per la prima volta alla loro ampiezza minima, (punto *D*, Fig. 154). In questo istante il secondario è sede di tutta l'energia del sistema, e comincia ad oscillare colla sua frequenza naturale. Si deve curare che lo smorzamento del primario non sia

eccessivo; e si ha dissipazione di energia per effetto joule nel primario solo nel breve intervallo, che precede lo strappamento delle oscillazioni.

La Fig. 155 rappresenta in questo caso il diagramma delle oscillazioni nei due circuiti. Le curve sono identiche a quelle nella Fig. 154 fino al punto D, dopo il quale nel secondario si ha una oscillazione libera debolmente smorzata. La costruzione ed il funzionamento degli spinterometri a scintilla strappata sono argomento del par. 156, cap. 5.

CAPITOLO 4.

ONDE ELETTROMAGNETICHE

A. Moto ondoso

124. Tre diversi sistemi di trasmissione dell'energia. — Tutti i sistemi di segnalazione fra punti lontani si basano sopra una o più combinazioni dei tre metodi seguenti:

(a) Urto o trazione di qualchecosa, che colleghi i due punti.

(b) Spostamento di un corpo mobile.

(c) Moto ondoso.

Pensiamo ad esempio ai diversi modi, coi quali è possibile svegliare un cane, che dorme. Lo si può picchiare con un lungo bastone. (metodo *a*). Gli si può gettare contro un sasso; se lo si colpisce si è nel caso del metodo *b*; se non si colpisce, il rumore fatto dal sasso, nell'urtare contro il muro od il pavimento, può svegliarlo, nel qual caso si ha una combinazione dei metodi *b* e *c*. Si può fischiare o chiamarlo (metodo *c*). Si può accendere una candela dinanzi ai suoi occhi (metodo *c*). Qualunque sistema si possa ideare ricade sempre in uno di questi tre metodi. Di essi il più importante per il nostro scopo è il terzo.

125. Proprietà del moto ondoso. — Sono a tutti familiari le onde del mare. Molte delle loro proprietà sono comuni a tutte le specie di onde. Così le creste e le gole, che si alternano, sebbene invisibili in molte categorie di onde, sono una caratteristica costante del moto ondoso. Nelle Fig. 80 e 95, cap. 1 e 2 sono rappresentati alcuni esempi di onde di forma diversa; di esse la più semplice è quella sinoidale (Fig. 80).

Come le onde marine, anche tutte le altre hanno una determinata lunghezza d'onda λ, che è la distanza fra due creste o due gole successive. Se si usa il termine fase per significare la posizione in un istante qualunque di un determinato punto del

profilo dell'onda, si può dire che in generale la lunghezza d'onda è la distanza fra due punti successivi, che hanno la stessa fase.

Le onde inoltre, di qualunque tipo siano, viaggiano con una velocità finita. Se si guarda un punto fisso della superficie increspata del mare, vi si vedono apparire, in un determinato intervallo di tempo, un certo numero di creste. Questo numero, che per ogni intervallo di tempo è costante, se riferito a un secondo, dicesi frequenza, f. La frequenza, moltiplicata per la lunghezza d'onda, dà la distanza, percorsa dalle onde in un secondo, che è la velocità c; o in simboli, $c=\lambda f$. Le varie categorie di onde si propagano con velocità diversa. Così le onde marine viaggiano con velocità da 10 a 100 cm. al secondo; la velocità delle onde sonore nell'aria è 330 metri al secondo; e la velocità della luce e delle onde elettriche è 300,000,000 di metri al secondo [1]

Quanto maggiore è lo spostamento, che per effetto delle onde, la superficie delle acque subisce dalla posizione di riposo, tanto più notevole è la quantità di energia messa in giuoco dalle onde stesse. Nel caso delle onde del mare la quantità di energia messa in giuoco è in relazione coll'altezza delle creste e colla profondità delle gole. Ciò si verifica per tutte le specie di onde. Lo spostamento massimo, che ogni punto subisce dalla sua posizione di riposo, chiamasi « ampiezza » dell'onda. Così si dice che l'energia in giuoco in un'onda, che si muove, dipende dall'ampiezza dell'onda stessa, ed è eguale al lavoro necessario a produrre lo spostamento delle particelle di acqua. Questo lavoro è in generale anche eguale al prodotto della forza antagonista per lo spazio percorso. Nel caso di molte categorie di onde, comprese le onde elettriche, la forza antagonista è proporzionale allo spostamento. Quindi il lavoro compiuto e l'energia trasmessa sono proporzionali al quadrato dall'ampiezza dell'onda.

---

[1] *Esempio.* — Qual'è la lunghezza d'onda di onde, che hanno la frequenza di 100.000 periodi al secondo, e che viaggiano con una velocità di 300.000.000 di metri al secondo?

$$\lambda=\frac{c}{f}=\frac{300.000.000}{100.000}=3000 \text{ metri.}$$

126. **Treni d'onde, continui e discontinui.** — Se nell'acqua tranquilla di uno stagno si getta un pietra, si dà origine ad un « treno » di onde, che si allontanano subito in tutte le direzioni dal punto dove il sasso è caduto, lasciando dietro ad esse una superficie indisturbata. Se proprio nel momento, in cui la superficie dell'acqua, nel punto considerato, ha compiuto un'escursione completa nei due sensi, si getta una seconda pietra, si inizierà un'altro treno d'onde in fase col primo, e i due treni si fonderanno in un treno unico. Se la cosa si ripete dopo ogni escursione completa della superficie nel punto di partenza, si dà origine a un sistema di onde continue, che si hanno pure, se a contatto della superficie si mantiene un corpo, che vibri. Se le vibrazioni del corpo si interrompono, i treni d'onde divengono invece discontinui. Si hanno frequenti esempi di questi due tipi di treni d'onde. Così, se pizzichiamo le corde di un mandolino, otteniamo un suono, che si trasmette in treni discontinui, mentre se invece facciamo scorrere l'archetto sulle corde di un violino, produciamo un suono, che si propaga con onde più prossimamente continue. Analogamente, in radiotelegrafia ritroviamo due tipi di onde; quelle continue fornite da alternatori ad alta frequenza, arco Poulsen, e triodi generatori; e quelle a treni discontinui, prodotte dalle scariche dei condensatori nei circuiti a scintilla. In questi l'ampiezza delle onde diminuisce progressivamente in ciascun treno d'onda; queste onde perciò diconsi onde « smorzate » (par. 115).

B. Propagazione delle onde.

127. **La propagazione delle onde dipende dalle proprietà elastiche del mezzo.** — Nel caso delle onde marine la propagazione del moto ondoso è visibile al nostro occhio, che percepisce il sollevarsi ed abbassarsi dalle masse d'acqua. Le singole particelle di acqua sono mantenute insieme da forze, che si oppongono al loro spostamento relativo; e quando una particella si sposta, le altre vicine sono trascinate da essa di una certa quantità. In termini tecnici si dice che il mezzo di trasmissione

ha proprietà « elastiche », e le forze, che entrano in giuoco, diconsi forze elastiche. La velocità delle onde dipende dalla natura e dall'intensità di dette forze.

Nel caso di onde sonore, le oscillazioni delle particelle d'aria non sono visibili. Esse infatti sono talmente piccole e le onde viaggiano tanto velocemente, che, solo ricorrendo a dispositivi speciali, possono essere messe in evidenza. Ma si può sperimentalmente dimostrare che la propagazione dell'energia avviene in questo caso in maniera analoga a quanto si verifica per le onde del mare. Per effetto delle reazioni elastiche fra le particelle d'aria vicine, la vibrazione si trasmette da un punto all'altro. Le onde sonore differiscono da quelle marine soltanto perchè la struttura dell'aria è diversa da quella dell'acqua, e quindi la reazione elastica allo spostamento nei due mezzi è differente: ma questa è l'unica differenza sostanziale fra i due tipi di onde.

128. **Proprietà delle onde elettromagnetiche.** — Nel caso delle onde elettromagnetiche, che spesso si dicono anche « onde elettriche », gli spostamenti sono della natura già illustrata, parlando dei condensatori (par. 29). Le reazioni elastiche, cui danno luogo le correnti di spostamento, si possono determinare in base alle stesse leggi, che abbiamo trovato per le forze elettriche e magnetiche, dovute alle correnti di conduzione. È al di là degli scopi, che questo manuale si prefigge, l'illustrare la natura di queste forze elastiche di natura elettrica: basterà dire che, nello spazio libero, esse danno origine ad onde, le quali presentano le seguenti caratteristiche:

(a) Il campo elettrico - e quindi lo spostamento - è perpendicolare alla direzione di propagazione del treno d'onda.

(b) Il campo magnetico, prodotto dalla corrente di spostamento, è ad angolo retto col campo elettrico, e colla direzione di propagazione del treno d'onda.

(c) Le variazioni di intensità del campo elettrico e del campo magnetico avvengono perfettamente in fase.

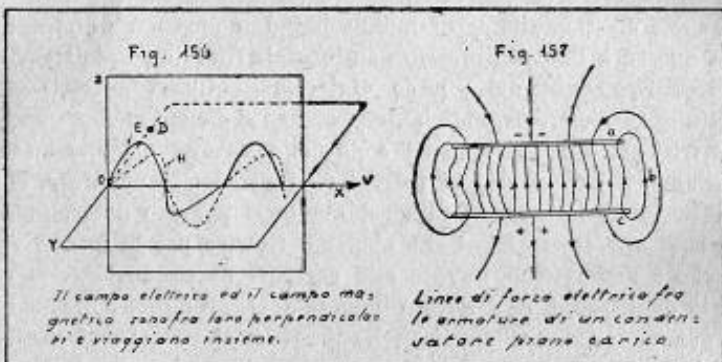
(d) La velocità di propagazione delle onde è 3×10^8 metri al secondo; è cioè la velocità della luce.

La fig. 156 illustra le proposizioni precedenti. In essa la curva

distinta colle lettere E o D congiunge gli estremi dei segmenti, che rappresentano i successivi valori del campo elettrico, e quella indicata con H gli estremi dei segmenti, che rappresentano i successivi valori del campo magnetico. La direzione, in cui l'onda si sposta, è indicata colla lettera v.

129. Alterazione delle onde nello spazio in prossimità della terra. — Le onde, che hanno origine in un punto dello spazio libero, viaggiano in tutte le direzioni colla stessa velocità. Man mano però che si propagano, le loro caratteristiche possono essere alterate da varie cause. Così, se le onde da una regione di una determinata costante dielettrica passano ad un'altra di costante diversa, sono in generale deviate leggermente e in parte

Fig. 156 — Il campo elettrico ed il campo magnetico sono fra loro perpendicolari e viaggiano insieme.

Fig. 157 — Linee di forza elettrica fra le armature di un condensatore piano carico.

riflesse. La loro energia viene anche assorbita in maggiore o minore misura dal mezzo, attraverso il quale si propagano. L'assorbimento è maggiore per onde corte che per onde lunghe. In un conduttore perfetto le onde non potrebbero propagarsi, poichè in tale mezzo manca qualsiasi opposizione elastica allo spostamento dell'elettricità. Una lamina perfettamente conduttrice rifletterebbe tutte le onde, che la incontrassero: un conduttore, disposto parallelamente alla direzione di propagazione delle onde, fa da guida alle onde stesse, in virtù delle correnti in esso indotte dal campo magnetico variabile dell'onda. Esso sottrae alle onde un'aliquota di energia tanto minore, quanto maggiore è

la sua conduttività. Le onde elettriche, usate per le comunicazioni radiotelegrafiche, subiscono di fatto le modificazioni, cui si è accennato; e questo spiega molte delle irregolarità, che si riscontrano nella ricezione dei segnali. Lo spazio, attraverso il quale i segnali radiotelegrafici viaggiano, si può immaginare limitato in basso da una lamina di conduttività varia (la superficie della terra); ed in alto - ad una distanza da 50 a 65 km. - da un'altra lamina, costituita dagli strati d'aria molto rarefatta, che, ionizzandosi per effetto delle radiazioni solari, divengono conduttori. Lo spazio compreso fra le due lamine è generalmente un buon dielettrico, e si comporta all'ingrosso analogamente a quanto fa un portavoce per le onde sonore, per quanto il fenomeno sia effettivamente più complesso. Le onde elettromagnetiche si irradiano da punti prossimi alla superficie della terra: in parte come treni d'onda, che seguono la superficie della terra stessa, la quale, per effetto delle sue irregolarità, dà origine a fenomeni di refrazione e di assorbimento: in parte come onde, che viaggiano nello spazio. Queste ultime, successivamente riflesse dagli strati superiore ed inferiore, che limitano il dielettrico, possono ricombinarsi colle onde, che seguono la superficie della terra, così da aggiungere o sottrarre, secondo le circostanze, ai propri anche gli effetti di queste. Durante il giorno lo strato conduttivo superiore è meno definito che di notte, per effetto della parziale ionizzazione dell'aria dovuta alle radiazioni solari. Durante il giorno si avrà quindi una riflessione delle onde dello spazio meno completa, e di conseguenza la maggior parte degli effetti alla stazione ricevente sarà da attribuire alle onde, che seguono la superficie terrestre. Di notte invece, quando il limite superiore è più esattamente definito, la riflessione delle onde nello spazio è più netta, ed i segnali ricevuti sono di conseguenza in generale più forti di quelli del giorno. Tuttavia i segnali notturni variano notevolmente di intensità, specialmente se la trasmissione si esegue con onde corte. Il fenomeno si verifica in modo particolare negli intervalli di tempo, durante i quali la linea del tramonto del sole passa fra le due stazioni comunicanti: come era da aspettarsi, perchè in tali circostanze

il limite superiore del dielettrico è estremamente variabile. Le nubi e le altre perturbazioni metereologiche producono notevoli variazioni nella conduttività della superficie, che costituisce il confine superiore della zona di propagazione delle onde, e ciò può spiegare le rapide variazioni d'intensità, che i segnali in arrivo frequentemente presentano.

Da tutte queste considerazioni si può conchiudere che le condizioni, in cui la ricezione dei segnali avviene con minori anomalie, sono:

(a) Trasmissione con onde lunghe.

(b) Trasmissione durante le ore diurne.

(c) Trasmissione su distanze brevi.

(d) Trasmissione sulla superficie del mare, che è uniformemente conduttiva.

Solo in queste condizioni è possibile confrontare l'efficienza relativa di due diverse stazioni trasmettenti.

130. **Disturbi atmosferici.** — La trasmissione dei segnali per mezzo di onde elettromagnetiche è spesso disturbata da onde estranee e da cariche statiche, che si sogliono rispettivamente indicare col nome di « intrusi » e di « disturbi atmosferici ». Essi danno origine nelle antenne a correnti variabili, e nei ricevitori a suoni di nota aspra ed irregolare. Questi fenomeni sono più frequenti in estate, e durante i temporali, specialmente se vicini, e sono prodotti da due diversi ordini di cause; *(a)* cariche di elettricità, che dall'atmosfera circostante giungono sull'antenna, e poi si scaricano al suolo; *(b)* onde elettromagnetiche, che trovano la loro origine in lampi lontani o in altre perturbazioni elettromagnetiche dell'atmosfera. I disturbi atmosferici sono il peggior nemico delle comunicazioni radiotelegrafiche, specialmente nei paesi tropicali. Non si è ancora trovato un sistema soddisfacente per eliminarli: ma se ne possono ridurre gli effetti nocivi, ricorrendo ad alcune particolari precauzioni. Una di queste consiste nell'accoppiare in modo lasco l'antenna al circuito ricevente: una seconda nell'uso di onde con decremento nullo o assai piccolo, e di apparati riceventi di elevata selettività. L'adozione di segnali a nota musicale aiuta pure ad escludere

i rumori estranei dovuti ai disturbi: infine l'uso di piccole antenne o aerei riceventi chiusi (telai) con amplificatori costituisce un dispositivo assai utile per eliminare i disturbi atmosferici.

C. Teoria della produzione e ricezione delle onde elettromagnetiche.

Per produrre dei treni d'onda, qualunque sia la natura delle onde, che si considerano, conviene disporre di un corpo, che vibri. Le vibrazioni di questo corpo devono poi essere comunicate ad un mezzo continuo, attraverso il quale, e in virtù delle proprietà elastiche di esso, si effettua la trasmissione delle onde.

Nel caso delle onde elettromagnetiche il corpo vibrante è una carica elettrica, che oscilla in un circuito (l'antenna trasmettente): e la propagazione delle onde avviene per effetto della mobilità di quelle linee di forza, che, nella loro posizione di riposo, ci servono a raffigurare il campo elettrostatico dovuto a cariche elettriche (Fig. 153). Lungo queste linee si ha uno spostamento di elettricità, al quale si oppone la reazione elastica del mezzo. Non si possono quindi avere linee di forza nei conduttori, nei quali non si manifesta alcuna reazione elastica. Sotto l'azione di queste reazioni, le masse elettriche, che hanno subito uno spostamento dalla loro posizione di riposo, sono continuamente sollecitate a ritornarvi: in altre parole, lungo le linee di forza si manifesta una vera e propria tensione. Inoltre le linee di forza sono necessariamente sottoposte anche ad una pressione normale; ed infatti, se questa pressione normale non esistesse, esse, per effetto delle tensioni tangenziali, avrebbero la forma di semplici rette parallele. Si può immaginare che le pressioni normali nascano dalla repulsione, che ha luogo fra cariche dello stesso segno, che hanno subito uno spostamento lungo linee vicine.

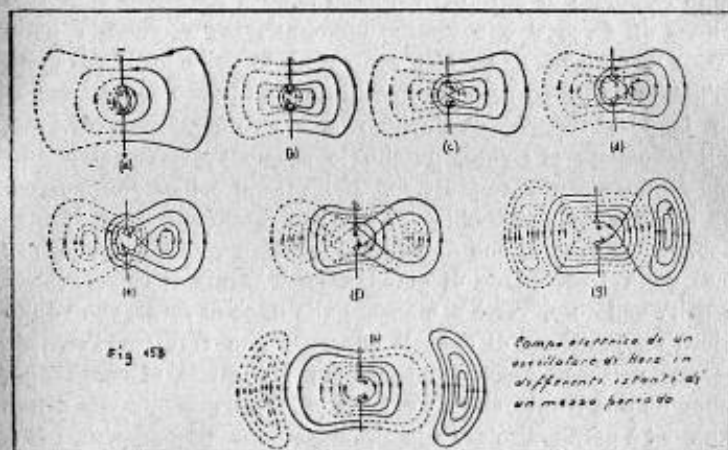
131. Campo magnetico prodotto da linee di forza elettrica in movimento. — Studiamo come si comportano le linee di forza, durante la fase di scarica di un condensatore. Prima che la scarica cominci, il campo può essere raffigurato come

in Fig. 157. Supponiamo ora che un filo sostituisca la linea *abc*, e che lungo esso avvenga la scarica del condensatore. La corrente di spostamento, che precedentemente si aveva lungo la linea *abc*, cessa, o, in altre parole, la linea si distrugge, tosto che la tensione tangenziale della linea scompare. Nello stesso tempo viene a mancare la pressione esercitata dalla linea di forza sparita sulle linee di forza vicine; le quali, sotto l'azione non più equilibrata delle pressioni esercitate dalle linee di forza più esterne, si spostano verso il filo. Durante questo movimento, le linee di forza scorrono colle loro estremità lungo le armature del condensatore, ed in esse, man mano che giungono al filo, cessa ogni spostamento di masse elettriche. Questo fenomeno continua fino a che tutte le linee di forza sono scomparse ed il condensatore si è scaricato.

Mentre questo accade delle linee di forza elettrica, una corrente circola nel filo *abc* e nelle armature del condensatore; questá corrente dà origine a linee di forza magnetiche, le qualpermangono fin che dura la corrente. Nello spazio interposto fra le armature del condensatore, queste linee di forza magnetica sono dirette normalmente al piano individuato dalla direzione delle linee di forza elettrica e dalla direzione del loro moto, ossia al piano del foglio. Se vogliamo descrivere il fenomeno, riferendoci al movimento delle linee di forza, possiamo dire che lo scorrere delle estremità delle linee di forza elettriche lungo un conduttore dà origine in esso ad una corrente; e che il movimento delle linee di forza elettriche in senso normale alla loro direzione dà origine a linee di forza magnetiche, nell'altra direzione perpendicolare al movimento. Se il senso del moto delle linee elettriche è parallelo alle linee di forza stesse, non si produce alcun campo magnetico. Da questo punto di vista, quello che accade nel mezzo, è la causa di quanto avviene nei conduttori. Nel caso che si considera, l'energia posseduta da quello si manifesta in questi sotto forma di calore.

132. **Radiazione di un oscillatore semplice.** — Consideriamo ora ciò che avviene, quando la scarica invece di essere unidirezionale è oscillatoria. Per fissare le idee, si consideri il caso

dell'oscillatore semplice di Hertz; di cui la fig. 158 *(a)* rappresenta il campo elettrostatico, un istante prima che lo spazio spinterometrico diventi conduttivo per effetto della scintilla. (Le linee di forza elettrica sulla sinistra dell'oscillatore sono rappresentate con linee punteggiate, e quelle sulla diritta con linee piene, allo scopo di poter seguire chiaramente ciascuna linea nelle sue successive posizioni). Quando scocca una scintilla e lo spazio spinterometrico diviene conduttivo, la linea di forza elettrica *ab* scompare, e le linee di forza ad essa vicine, dall'uno e dall'altro lato, cominciano a spostarsi verso l'oscillatore, per ef-

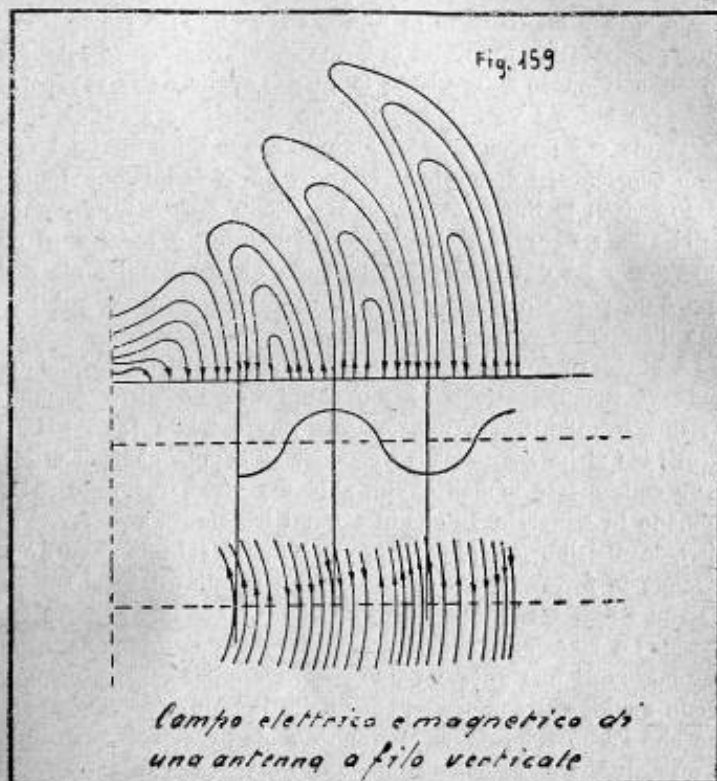
fetto della pressione non più equilibrata, esercitata dalle linee di forza esterne, come abbiamo già visto. Nel caso dell'oscillatore dobbiamo però supporre che, quando le estremità della linea *ab* raggiungono le due posizioni al limite dello spazio spinterometrico, abbiano ancora velocità sufficiente a incrociarsi, e che la parte intermedia della linea possa passare dall'altra parte dell'oscillatore. La Fig. 158 b rappresenta questa condizione per due linee di forza. Se le estremità della linea arrivano allo spazio spinterometrico prima della parte intermedia, come indica la Fig. 158 c, esse, incontrandosi, danno origine ad un cappio, come

in Fig. 158 d. Mentre le estremità della linea continuano a spostarsi sull'oscillatore, arriverà un istante in cui la linea si scinderà nelle due parti *m* ed *n* (Fig. 158 *e*): perchè l'angolo di intersezione sarà divenuto tanto acuto, che lo spostamento di ciascuna metà della linea avverrà nella direzione della linea stessa: mancherà il campo magnetico e quindi la causa, che tende a mantenere le due parti *m* ed *n* l'una vicina all'altra. ([1])

Il processo continua, come indicano le Fig. 158-f, g,h , l'ultima delle quali rappresenta il fenomeno, dopo che l'aereo ha compiuto una semioscillazione, e le cariche sulle due metà dell'oscillatore hanno cambiato di segno. In questo istante un fascio cilindrico di linee di forza si è staccato dall'oscillatore e viaggia nello spazio: mentre le linee, che sono rimaste colle loro estremità sull'oscillatore, dopo essersi dilatate fino a quanto lo ha consentito la loro inerzia, cominciano a restringersi nuovamente, ed il fenomeno si ripete, purchè lo spazio spinterometrico divenga nuovamente conduttivo. Nella semioscillazione successiva si staccherà dall'oscillatore un altro fascio cilindrico di linee di forza, e l'irradiazione delle onde continuerà fino a che, per causa della dissipazione di potenza sotto forma di calore, che si ha nell'oscillatore, verrà a mancare alle linee di forza, che hanno le loro estremità su di esso, la sorgente che fornisca l'energia necessaria. Questi fasci cilindrici man mano che si propagano, assumono una fronte, che si avvicina progressivamente alla forma piana, ed è perpendicolare alla direzione della propagazione. Durante il processo illustrato nelle Fig. da 158-b a 158-g, vale a dire mentre la corrente circola nell'oscillatore dal basso all'alto, il moto delle linee di forza elettrica dà origine a linee magnetiche (non rappresentate in figura), a forma di circoli, che hanno il loro centro sull'oscillatore, e che sulla destra entrano nel foglio,

---

([1]) Questa rappresentazione del fenomeno fisicamente è inesatta: non è infatti possibile immaginare che lo spostamento, nel punto di intersezione, avvenga contemporaneamente secondo due direzioni: lo spostamento si avrà nella direzione risultante. E' più rigoroso concepire che, nell'istante in cui le due estremità della linea si incontrano, il cappio si liberi, senza far intervenire un incrocio dei due tratti della linea di forza. (N. d. T.)

mentre sulla sinistra ne escono. Le linee di forza magnetica mancano nei pressi dell'oscillatore, quando su questo le linee elettriche sono ferme (Fig. 158-a e 158-h): ma si accompagnano nello spazio alle linee di forza elettrica, seguendole nella loro propagazione. Quando i fasci cilindrici di linee elettriche sono

Campo elettrico e magnetico di una antenna a filo verticale

giunti così lontano, da potersi considerare praticamente come piani, anche le linee magnetiche giacciono in questi piani, mantenendosi però perpendicolari alle linee elettriche ed alla direzione della propagazione.

Nel caso di un'antenna costituita da un semplice filo verticale, il meccanismo della radiazione è simile a quello descritto. In questo caso però, poichè l'estremità inferiore dell'antenna è messa alla terra, delle onde rappresentate nelle fig. da 158-a a 158-h, si producono solo le semionde indicate in Fig. 159, nelle quali le linee elettriche sono rappresentate in una sezione verticale, quelle magnetiche in una sezione piana; e fra le due figure precedenti è riprodotta la forma d'onda comune ad entrambe. In ciascun punto dello spazio, le linee si avvicinano e si separano come farebbero i vari elementi di un soffietto a mantice. Quando l'onda si è propagata così lontano che le linee elettriche possono considerarsi come delle rette, si ha la condizione indicata in Fig. 160; le linee magnetiche possono essere rappresentate dalla stessa figura, ruotata però di 90° intorno all'asse di propagazione. Là dove la superficie, sulla quale viaggiano le onde, non è un perfetto conduttore, le estremità delle linee subiscono una distorsione come in Fig. 161.

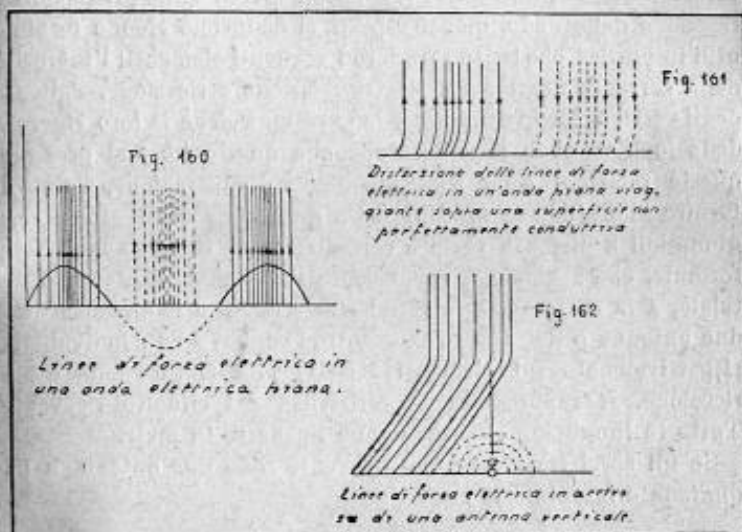
La stessa rappresentazione del fenomeno dell'irradiazione delle onde elettromagnetiche si può applicare ad altre forme di sistemi irradianti, sia ad antenna che a telaio (par. 151). In ogni caso si ha sempre la formazione di cappii, che poi si staccano colle stesse modalità, che abbiamo visto, trattando del fenomeno in generale. In alcuni sistemi irradianti, a preferenza di altri, la distribuzione delle linee di forza è tale da favorire più o meno la formazione di questi cappii; perciò gli aerei sono dei sistemi irradiatori più o meno efficienti a seconda del loro tipo.

133. **La ricezione.** — Il meccanismo della ricezione delle onde per mezzo di una antenna può essere studiato, esaminando in modo analogo il comportamento delle linee di forza. Supponiamo che l'arco si presenti al treno d'onda in arrivo, come indica la Fig. 162. Non appena le linee giungono sull'antenna, le loro estremità superiori, come indicano le linee punteggiate, scorrono lungo l'antenna, sulla quale si ha uno spostamento di cariche elettriche. Il fenomeno può essere seguito anche da un altro punto di vista. Man mano che le onde avanzando investono l'antenna ricevente, questa si troverà immersa in un campo

elettrico di intensità e di segno variabile: e sarà come se fra il suolo e l'estremità dell'antenna si applicasse una f. e. m. alternata. Un modo ancora differente di concepire il fenomeno della ricezione si ha, ricordando la legge di Lenz: ogni qualvolta si ha movimento relativo di un campo magnetico rispetto ad un conduttore, in questo si induce una f. e. m. Il campo magnetico dell'onda di propagazione si sposta rispetto all'antenna: si ha quindi moto relativo fra l'antenna ed il campo magnetico;

Fig. 160 — Linee di forza elettrica in una onda elettrica piana.

Fig. 161 — Distorsione delle linee di forza elettrica in un'onda piana viaggiante sopra una superficie non perfettamente conduttrice.

Fig. 162 — Linee di forza elettrica in arrivo su di una antenna verticale.

per tal fatto nell'antenna si genera una f. e. m., che dà origine ad una corrente.

La ricezione delle onde elettromagnetiche in un telaio invece che in un'antenna, si può interpretare cogli stessi principi. Se ci riferiamo al campo elettrico, la spiegazione del fenomeno è piuttosto complessa a causa delle differenze di fase, che si manifestano fra le correnti, che si generano nelle diverse parti del telaio. È invece più semplice in questo caso riferirsi al campo magnetico, ed immaginare che la corrente sia prodotta

dalle variazioni di flusso, che si hanno nel telaio per effetto delle alternative del campo magnetico associato all'onda. Del resto una qualunque di queste diverse concezioni conduce a risultati perfettamente identici.

D. Formule relative alla trasmissione.

134. Formule di trasmissione e ricezione. — Traducendo in relazioni matematiche i concetti generali inerenti alla produzione e ricezione delle onde, dianzi esposti, si deducono alcune formule utili in pratica, che legano fra loro i seguenti elementi: l'intensità della corrente negli aerei di trasmissione e ricezione, l'altezza degli aerei, la loro resistenza e la portata. Poichè la loro rigorosa deduzione va al di là dello scopo, che questo libro si prefigge, queste relazioni sono riportate senza dimostrazione, a fine di fornire allo studioso un' idea della grandezza degli effetti raggiungibili a distanze varie e con differenti tipi di aerei. Nelle formule, che seguono, h rappresenta l'altezza dell'antenna o del telaio, I la corrente, λ la lunghezza d'onda, d la distanza delle due antenne o dei due telai, mentre i suffissi t ed r individuano rispettivamente gli elementi relativi alla trasmissione e alla ricezione. R rappresenta la resistenza del circuito ricevente. Tutte le lunghezze si suppongono misurate in metri.

Se gli aerei trasmettente e ricevente sono due antenne a padiglione orizzontale si ha:

$$I_r = \frac{188\, h_t\, h_r\, I_t}{R \lambda d} \tag{83}$$

Se l'aereo trasmettente è ad antenna e quello ricevente a telaio quadrato

$$I_r = \frac{1184\, h_t\, h_r\, l_r\, N_r\, I_t}{R \lambda^2 d} \tag{84}$$

dove l_r è la dimensione del lato, e N_r il numero delle spire di filo del telaio.

Se l'aereo trasmettente è a telaio e quello ricevente ad antenna:

$$I_r = \frac{1184\, h_1 l_1 h_r N_1 I_1}{R\lambda^2 d} \qquad (85)$$

dove l_1 è la lunghezza del lato del telaio trasmettente ed N_1 il numero delle spire.

Se l'aereo trasmettente e ricevente sono a telaio,

$$I_r = \frac{7450\, h_1 l_1 h_r l_r N_1 N_r I_1}{R\lambda^3 d} \qquad (86)$$

In tutte queste formule, se d é maggiore di 100 chilometri, il secondo membro I_r deve essere moltiplicato per il fattore $e^{-0{,}000047 \frac{d}{\sqrt{\lambda}}}$ per ottenere un risultato più esatto. (Tanto d che λ sono in metri, ed e è eguale a 2,718).

135. **Applicazioni.** — Per illustrare l'impiego di queste formule, supponiamo che si voglia determinare quale deve essere l'intensità della corrente in un'antenna trasmettente alta 20 metri, e sintonizzata per onde di 300 metri, perchè un'antenna simile distante 500 km, di resistenza 10 Ω possa agevolmente ricevere lo onde irradiate dalla prima, usando un raddrizzatore a cristallo (corrente minima nell'antenna ricevente 1/10,000 ampere).

Risolvendo la prima relazione rispetto a I_1 abbiamo:

$$I_1 = \frac{R\lambda d I_r}{188\, h_1 h_r} = \frac{10 \times 300 \times 50.000 \times \frac{1}{10000}}{188 \times 20 \times 20} = \frac{1}{5} \text{ ampere appross.}$$

Supponiamo poi di sostituire la nostra antenna ricevente con un telaio quadrato di 2 Ω di resistenza, di 2 metri di lato e costituito da 10 spire di filo.

Se la corrente nell'antenna trasmettente conserva il valore di $\frac{1}{5}$ ampere, quale sarà la corrente nel telaio ricevente? Usando la seconda formula

$$I_r = \frac{1184\, h_1 h_r l_r N_r I_1}{R\lambda^2 d} = \frac{1184 \times 20 \times 2 \times 2 \times 10 \times \frac{1}{5}}{2 \times 300 \times 300 \times 50000} = 2.1/10^5 \text{ ampere}$$

18

Con questa intensità di corrente converrebbe usare invece di un cristallo un triodo raddrizzatore.

Come terzo esempio supponiamo che l'aereo trasmettente sia costituito da un telaio quadrato di 10 metri di lato ad un'unica spira di filo, nella quale la corrente sia $\frac{1}{5}$ ampere: e che le onde irradiate abbiano una λ=1000 metri. Di quante spire dovrebbe essere costituito un telaio quadrato di 2 metri di lato, avente una resistenza di 5 Ω, per ricevere ad una distanza di 50 km. i segnali trasmessi con un triodo (corrente minima $1/10^8$ amp.)? Risolvendo la quarta relazione rispetto ad N_r abbiamo:

$$N_r = \frac{R \lambda^2 d I_r}{7450\, h_t l_t h_r l_r N_t I_t} = \frac{5 \times 10^6 \times 5 \times 10^4 \times 1/10^8}{7450 \times 10 \times 10 \times 2 \times 2 \times 1 \times \frac{1}{5}} = 4 \text{ spire (circa)}$$

136. Discussione delle formule. — Dalle formule sopracitate si possono trarre alcune deduzioni di carattere generale. Poichè λ appare nel denominatore, ne segue che, a pari altezza e corrente nell'aereo trasmettente, a pari resistenza del ricevitore e distanza di trasmissione, si avrà nel ricevitore una corrente tanto più intensa, quanto più corta è la lunghezza d'onda usata.

D'altra parte, colle onde corte si ha un assorbimento maggiore che colle onde lunghe, come fu già detto a proposito delle alterazioni, a cui sono soggette le onde nello spazio (par. 129). Di questo elemento si deve tener conto per forti distanze di trasmissione, mediante un coefficiente di correzione. In questo coefficiente λ compare come un fattore, che fa diminuire l'intensità della corrente di ricezione, tanto più quanto è maggiore la lunghezza d'onda impiegata. Si può quindi concludere in generale che, per avere correnti di ricezione più intense possibili, si devono usare onde corte per brevi distanze e onde lunghe per distanze considerevoli.

Dall'esame delle formule si vede che con aerei ad antenna la corrente di ricezione (per lunghezza d'onda, corrente di trasmissione, resistenza del ricevitore e portata date) è tanto maggiore quanto maggiori sono le altezze delle antenne. Nel caso di aerei a telaio, a parità di condizioni, la corrente di ricezione è tanto più intensa, quanto maggiore è l'area ed il numero delle spire

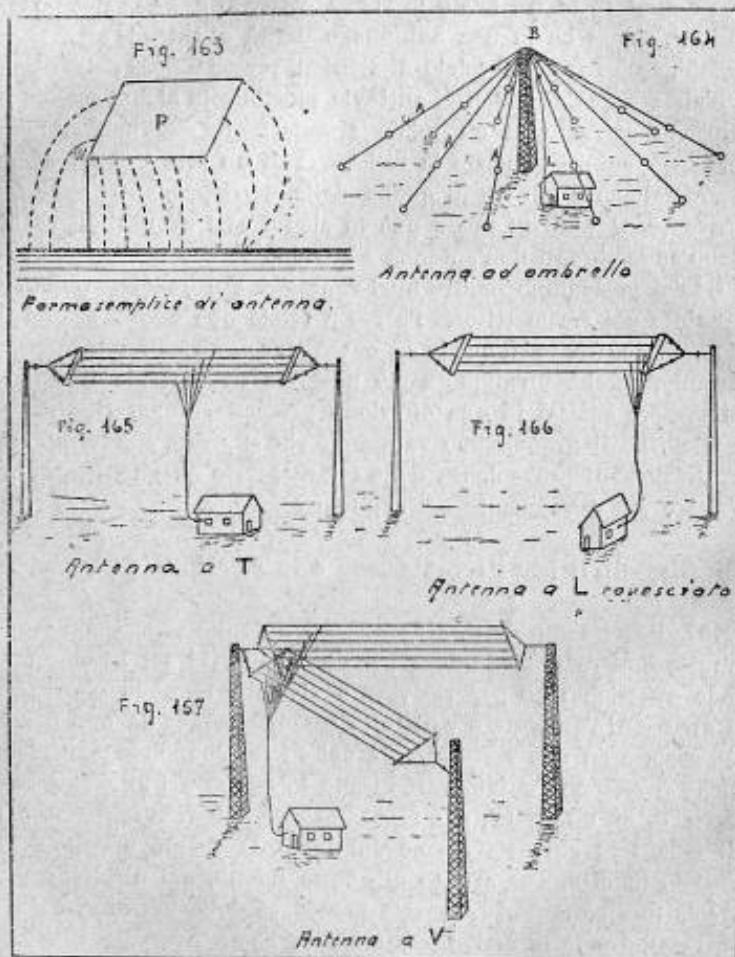
del telaio. Le antenne di dimensioni, quali ricorrono generalmente, sono radiatori e ricevitori molto più efficaci dei telai. Per realizzare in un telaio la stessa corrente di radiazione o ricezione, che si ha in una antenna, a parità di tutte le altre condizioni, occorre dare al telaio dimensioni presso a poco dell'ordine dell'altezza dell'antenna. È tuttavia possibile in alcuni casi mettere più corrente in un telaio trasmettente che nell'antenna corrispondente, ed inoltre la resistenza di un telaio di ricezione è generalmente minore di quella della corrispondente antenna ricevente. Quindi un telaio può in alcuni casi avere dimensioni meno ingombranti dell'antenna equivalente.

I telai presentano inoltre altri vantaggi. Per una data potenza assorbita dal trasmettitore, l'aereo a telaio non è così svantaggioso in confronto di quello ad antenna, come risulterebbe dalla formula, perchè un'aliquota più notevole dell'energia irradiata può essere emessa in una direzione prescelta. Come ricevitore, il telaio ha il grandissimo vantaggio che si presta a determinare la direzione di provenienza delle onde. Queste questioni saranno trattate più estesamente nel capitolo seguente.

E. Dispositivi per l'irradiazione e la ricezione delle onde.

137. Descrizione dell'antenna. — L'antenna si usa nelle comunicazioni radiotelegrafiche per due scopi: (1) per irradiare le onde elettriche: (2) per ricevere o rivelare le onde elettriche in arrivo. Un'antenna è costituita essenzialmente da uno o più fili, sospesi ad una certa altezza dal suolo. Quando le onde elettriche investono l'antenna, inducono in essa, fra i fili e la terra, una f. e. m. alternata; e quanto maggiore è la lunghezza dei fili e la loro sovraelevazione sul suolo, tanto più intensa è la f. e m. indotta. Per effetto di questa f. e. m. nei fili dell'aereo circola una corrente. L'energia posseduta dalla corrente è sottratta alle onde in arrivo, esattamente come avviene dell'energia spesa dalle onde del mare, per imprimere ad una pagliuzza galleggiante un moto oscillatorio.

Un aereo ricevente deve essere di dimensioni sensibili, perchè

possa assorbire sufficiente energia dalle onde elettriche, e quindi eccitare gli apparati riceventi. Un'antenna trasmettente deve

del pari avere dimensioni notevoli, allo scopo di poter irradiare le onde elettriche a grande distanza. Lo stesso aereo si usa sia

per la trasmissione che per la ricezione. Un aereo, che serva solo per la ricezione, può tuttavia avere dimensioni meno ingombranti di uno, che debba usarsi anche per la trasmissione.

La forma più semplice di aereo sarebbe quella di una piastra *P*, Fig. 163, sospesa dalla terra e da questa isolata, a meno del collegamento costituito dal filo *W*, che dicesi « coda d'aereo ». La piastra e la terra formano le due armature di un condensatore, e lo spazio compreso fra essi costituisce il dielettrico. Quando si imprime al filo una f. e. m. alternata, le correnti di carica passano nei due sensi dalla piastra alla terra e viceversa, ed il dielettrico si polarizza prima in un senso e poi nell'altro. Come si spiegò nel capitolo precedente, la sollecitazione elettrica dà luogo a correnti di spostamento nel dielettrico, attraverso il quale il circuito piastra terra si chiude. Una regione, in cui il dielettrico sia soggetto a sollecitazioni elettriche, alternativamente nei due sensi, funziona come sorgente di onde elettriche. Quanto più grande è la piastra e quanto più è alta dal suolo, tanto più ampio è lo spazio, nel quale si determina lo stato di sollecitazione, e tanto più intensa l'irradiazione delle onde.

In pratica, invece di piastre per costruire un'antenna, si usano dei fili. Un filo unico verticale è, a pari dimensioni, il radiatore migliore: ma per irradiare onde lunghe o per trasmettere a grandi distanze occorrerebbe un filo di lunghezza estremamente lunga (par. 142). Si preferiscono quindi antenne costituite da più fili orizzontali od inclinati. Si deve tener ben presente che una antenna non è che un grande condensatore; tutte le diverse forme di antenna realizzano questo medesimo concetto, per quanto alcune forme si prestino meglio di altre all'irradiazione delle onde elettriche.

138. **Tipi diversi di antenne.** — Il tipo di antenna ad ombrello, (Fig. 164) è formato da un certo numero di fili, che divergono dall'estremità superiore di un albero, e sono collegati o ancorati al suolo per mezzo di isolatori *A*, com'è indicato in figura. I fili di entrata *L* scendono dal nodo, ove confluiscono i fili *B*, agli apparati. I tratti di filo *BA* sostituiscono la piastra *P*

della Fig. 163. Un'antenna di questo tipo si può mettere prontamente in funzione, e si usa frequentemente cogli apparati radiotelegrafici da campo.

Si hanno anche antenne costituite da fili orizzontali paralleli, sostenuti da due alberi isolati. È questa la forma ordinariamente scelta per le stazioni r. t. di bordo. A seconda che i fili di entrata partono da un'estremità dei fili orizzontali (Fig. 166) o dal loro punto di mezzo (Fig. 165), l'antenna dicesi del tipo a *L* rovesciato o a *T*. L'aereo a *V* è costituito da due tubi orizzontali o leggermente inclinati, sostenuti da tre alberi, per modo che i tratti orizzontali dell'antenna formino fra loro un certo angolo (Fig. 167).

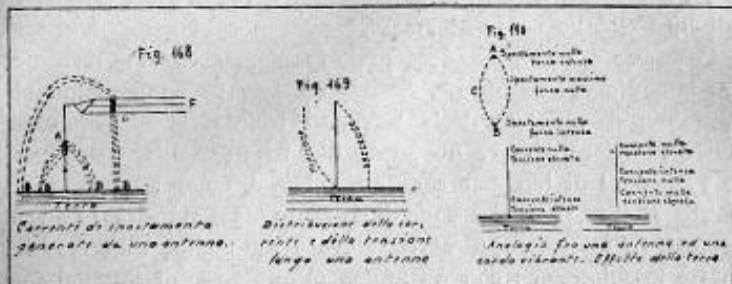
Per trasmissioni a brevi distanze, si possono impiegare antenne semplici, come per esempio, un filo unico teso fra due pali ad una altezza di pochi metri dal suolo. Se il terreno si presenta asciutto, si può distendere lungo il suolo un filo isolato, e inserire l'apparato ricevente nel suo punto di mezzo, costituendo in tal modo un'« antenna di terra ». Per stazioni riceventi fornite di amplificatori o in genere di apparati riceventi molto sensibili, si possono impiegare antenne molto semplici e di dimensioni modeste, che permettono la ricezione anche a distanze rilevanti.

139. **Distribuzione della corrente e della tensione in una antenna.** — Quando si applica una f. e. m. alternativa ad una antenna, una corrente di carica circola nei suoi fili, come già si disse, trattando il caso ideale considerato in Fig. 163. Se vogliamo renderci conto del fenomeno con esattezza, dobbiamo rammentare che ogni piccolo tratto di filo costituisce l'armatura di un condensatore, di cui la terra è l'altra armatura. Si dice perciò che l'antenna ha una capacità distribuita.

A misura che le masse elettriche si spostano dalla base della antenna lungo di essa, si ha un accumularsi di elettricità in ciascun tratto *A* del filo, ed una corrente di spostamento attraversa il dielettrico e va alla terra, come è indicato in *A B* (Fig. 168). Di conseguenza la corrente lungo il filo diminuisce man mano che ci si avvicina all'estremità libera *F* dell'antenna, dove si an-

nulla. È infatti evidente che la corrente abbia valori diversi nei vari punti dell'antenna, e che sia nulla alla sua estremità libera e massima nel punto in cui l'antenna è collegata alla terra. (Fig. 169). Questa distribuzione di corrente è notevolmente diversa da quella, che si realizza in un filo percorso da una corrente continua, nel quale la corrente ha la stessa intensità in ogni punto del circuito. Questa diversità di comportamento si esalta per effetto dell'altissima frequenza delle correnti, che circolano nelle antenne.

La tensione invece è nulla alla presa di terra ed ha il suo valore massimo all'estremità libera dell'antenna. In questo punto infatti scoccano le scintille più nutrite; e perciò l'isolamento dell'aereo dagli oggetti vicini e dalla terra deve essere partico-

larmente buono alla sua estremità libera. (Nella Fig. 169 si suppone di riportare i singoli valori di corrente su rette orizzontali a partire dall'asse verticale).

Una forte capacità rispetto alla terra, concentrata in un punto qualunque dell'antenna, altera notevolmente in quel punto la distribuzione della corrente. Se questa capacità concentrata è all'estremità dell'aereo, come avviene per le antenne a lunghi fili disposti in un piano orizzontale, con coda di entrata verticale a pochi fili, l'intensità media della corrente nel tratto orizzontale è notevole, ed aumenta di poco lungo il filo di entrata, per l'effetto delle cariche che vi si trovano, dando luogo a correnti intense nell'apparato ricevente. Si realizza un notevole

vantaggio col concentrare quanta maggior capacità è possibile nel punto più alto dell'antenna.

140. **Azione della terra - Contrappesi.** — Le oscillazioni elettriche di un'antenna presentano qualche analogia colle vibrazioni di una corda, tesa fra due punti *A* e *B*, e a cui si imprimano degli impulsi nel punto medio *C* (Fig. 170). Le forze, che sollecitano la corda a vibrare, hanno il massimo di intensità nei punti *A* e *B*, ed il minimo nel punto *C*. Gli spostamenti della corda sono più considerevoli in *C*; mentre i punti *A* e *B* sono in quiete. Se consideriamo la corrente nell'aereo come qualche cosa di analogo allo spostamento della corda, e la tensione come analoga alla forza, potremo renderci ragione del fatto che la estremità dell'aereo si comporti in modo simile all'estremità *A* (o *B*) della corda, mentre la base dell'aereo si comporta come il punto *C* della corda stessa.

Possiamo ora comprendere quale funzione eserciti la terra nell'andamento del fenomeno. Se per un istante supponiamo che l'antenna sia staccata dalla terra, ed isolata, la sua estremità libera inferiore diverrà un punto di corrente nulla, e nel quale le variazioni di tensione saranno notevoli, come avviene per il punto *B* (Fig. 170). La zona di corrente massima sarà, in questa ipotesi, in un tratto di aereo elevato dal suolo. Una corda si mette in vibrazione con un sforzo minimo, se gli impulsi sono impressi al punto medio della corda stessa: se invece si applicano alle estremità è quasi impossibile farla vibrare. Nello stesso modo, è quasi impossibile far oscillare un aereo, staccato dalla terra, applicando la tensione alla estremità inferiore di esso. Per raggiungere lo scopo, gli apparati di eccitazione dovrebbero in questo caso essere inseriti in punti dell'antenna poco accessibili, perchè elevati sul suolo. È perciò necessario provvedere a che l'estremità inferiore dell'aereo sia una zona di corrente intensa; con una buona presa di terra questa condizione è soddisfatta.

Nei luoghi in cui la terra ha cattiva conducibilità (perchè il suolo è asciutto, roccioso, con acqua ad una notevole profondità) è difficile realizzare questa condizione. In tali casi si può invece adoperare una capacità di terra o « contrappeso », costituita

semplicemente da una massa isolata di metallo *M* di notevoli dimensioni (Fig. 171) posta a breve distanza dal suolo. L'estremità inferiore dell'aereo si collega a questa massa metallica, che costituisce l'armatura superiore di un condensatore, di cui l'altra armatura è formata dagli strati più umidi *W* della terra, a una certa profondità dalla superficie. Per quanto riguarda l'antenna, il contrappeso sostituisce la terra. L'antenna può quindi essere eccitata da convenienti apparati, inseriti o in essa, o ad essa accoppiati proprio in *M* o in vicinanza del suolo. (Si tratterà dei sistemi di accoppiamento degli apparati generatori all'aereo nel par. 160). In alcuni casi come contrappeso si adopera una rete di fili posta in vicinanza del suolo; in altri, il contrappeso è costituito da fili isolati, che, partendo dalla base dell'antenna, si irradiano nel suolo stesso.

Nei complessi radiotelegrafici per aereoplani si deve necessariamente ricorrere all'uso di un contrappeso: che è costituito dalle parti metalliche della carlinga, del motore, degli stralli, delle ali, ecc. L'antenna vera e propria è invece un filo con un peso all'estremità, fissato all'aereoplano, e trascinato da esso durante il volo. All'atto dell'ammarraggio il filo è ricuperato ed avvolto su apposito tamburo. L'antenna risulta in tal guisa in posizione più bassa del contrappeso, ma il risultato è identico a quello che si realizza nella disposizione inversa.

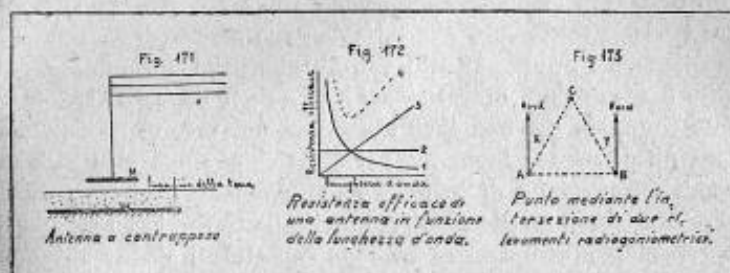



Fig. 171 — Antenna e contrappeso

Fig. 172 — Resistenza efficace di una antenna in funzione della lunghezza d'onda.

Fig. 173 — Punto mediante l'intersezione di due rilevamenti radiogoniometrici.

F. Caratteristiche dell'antenna.

Il comportamento di un'antenna, come quello di qualsiasi circuito oscillante, dipende dalla sua capacità, induttanza e resi-

stenza efficace. La lunghezza delle onde irradiate è funzione della capacità e dell'induttanza (par. 116); dalla resistenza dipende lo smorzamento.

141. Capacità. — L'energia, che può immagazzinare un condensatore, caricato ad una tensione E, è data dal prodotto della metà della capacità, C, per il quadrato della tensione. L'energia fornita in un secondo ad una antenna, se N è il numero delle cariche al secondo, è quindi (par. 34)

$$P = \frac{1}{2} C E^2 N$$

Possiamo evidentemente aumentare la quantità di energia fornita ad un'antenna, aumentando il numero delle cariche al secondo, o la tensione.

Non è pratico aumentare il numero delle cariche al di là di 1000 o 1500 al secondo. La tensione sull'aereo non può superare i 50.000 volt, senza che intervengano perdite di energia per dispersioni ed afflluvi. Il solo fattore, che nella formula precedente è suscettibile di variazioni è C; quindi un aereo trasmettente a grande potenza deve avere una notevole capacità, ossia molti fili di grande lunghezza; il che richiede una struttura di grandi dimenzioni e di costo non indifferente.

La capacità di un filo unico, parallelo alla terra, si può calcolare approssimativamente, e così anche la capacità di alcune antenne semplici a fili paralleli. Anche nei casi meno complessi però, la presenza di case, alberi ed altri corpi vicini, e la difficoltà di tener conto dei fili di entrata, rendono i nostri calcoli poco esatti. Si può tuttavia stabilire che la capacità di un filo è proporzionale alla sua lunghezza; che la capacità di due fili vicini è minore della somma delle loro capacità singole, e che, in generale, per quanto ogni filo aggiunto accresca la capacità complessiva, tale aumento è assai inferiore al valore della capacità, che il filo da solo avrebbe, se messo nello stesso posto. Per dare un'idea dei valori di capacità, che le antenne hanno in pratica, si possono citare i seguenti dati:

Aereoplani e piccole antenne da dilettanti, circa 0,0005 μF.

Antenne di bordo, da 0,0007 a 0,0015 μF.

Antenne di grandi stazioni terrestri da 0,005 a 0,15 μF.

Il che significa che, malgrado le loro notevoli dimensioni, le antenne non raggiungono valori di capacità superiori a quelli, che si hanno negli ordinari condensatori variabili ad aria (par. 32).

La capacità di un'antenna si misura facilmente col metodo di sostituzione (metodo di Austin). Tra la coda d'aereo e la presa di terra si inserisce una bobina di induttanza notevole, in confronto di quella dell'aereo, p. es. di valore tale da irradiare onde di una lunghezza cinque volte maggiore di quella fondamentale (par. 144). Si accoppia a questa bobina, con accoppiamento lasco, un circuito generatore, che si porta alla risonanza. Si stacca dalla bobina l'antenna, e al suo posto si guarnisce un condensatore variabile, che si regola in modo da realizzare la stessa lunghezza d'onda. La capacità incognita dell'antenna è data dalla capacità del condensatore alla risonanza, a meno di una piccola correzione dovuta all'induttanza dell'antenna, che però, in confronto a quella della bobina adoperata, è generalmente trascurabile.

142. — **Induttanza.** — Per quanto abbiamo schematicamente concepito un'antenna come un condensatore, pure anche l'induttanza, che i fili dell'antenna necessariamente posseggono, interviene come fattore importante per la determinazione della lunghezza d'onda delle onde irradiate. L'antenna è infatti un circuito oscillante, e quindi la lunghezza d'onda o frequenza delle oscillazioni libere dipende dal prodotto dell'induttanza per la capacità (formula 79 del par. 116).

In generale l'induttanza delle antenne non è grande, ma è compresa fra 50 e 100 microhenry; poichè però a capacità elevate si associano evidentemente anche induttanze più notevoli, gli aerei delle stazioni di grande potenza irradiano generalmente onde lunghe. Il valore dell'induttanza di un'antenna si ottiene comunemente da una combinazione di misure di capacità e di lunghezza d'onda.

143. **Resistenza.** — I fili di un'antenna offrono alle correnti ad alta frequenza, che li percorrono, una resistenza maggiore di

quella, che essi presenterebbero ad una corrente continua, a cagione dell'effetto della pelle (skin effect, par. 117). Inoltre la radiazione di energia sotto forma di onde produce un ulteriore aumento della resistenza apparente dell'antenna. Per « resistenza efficace di un'antenna » si definisce quindi il quoziente della potenza fornita all'antenna per il quadrato della corrente, che vi circola. Perciò, se R è la resistenza efficace, la potenza totale comunicata all'antenna è RI^2; I è l'intensità della corrente misurata alla base dell'antenna. La resistenza efficace assume valori diversi alle varie frequenze, come si dirà in appresso.

La potenza totale messa in giuoco nell'antenna si dissipa per diverse vie: (1) sotto forma di calore nei fili d'aereo e nella presa di terra; (2) sotto forma di effluvi; (3) per dispersione superficiale o attraverso gli isolatori; (4) sotto forma di calore nel dielettrico, che circonda l'aereo, ed in quello dei condensatori, che fanno parte del circuito d'aereo; (5) nell'irradiazione delle onde. In quest'ultima rientra anche la perdita di energia, dovuta alla produzione di calore per correnti parassite indotte nei conduttori vicini all'aereo, quali gli stralli e le parti metalliche degli alberi. Se $R'I^2$ rappresenta la potenza totale, diminuita di quella irradiata, $R''I^2$, è evidente che sarà $R'I^2+R''I^2=RI^2$; da cui $R'+R''=R$ resistenza efficace. R'' dicesi « resistenza di radiazione». Essa può definirsi come la resistenza, che, inserita alla base dell'aereo, produrrebbe per effetto joule un consumo di potenza pari a quello, che si verifica per l'irradiazione delle onde elettromagnetiche. La resistenza di radiazione assume valori diversi in corrispondenza alle differenti frequenze, e dà un'idea del potere irradiante di un'antenna per ogni ampere di corrente d'aereo.

Se si misura a frequenze varie la resistenza efficace di una antenna, ed i successivi valori si riportano in un diagramma, avente per ascisse le frequenze o le lunghezze d'onde e per ordinate le resistenze efficaci, si ottiene una curva del tipo di quella N. 4 disegnata in Fig. 172. La sua forma si spiega, considerando come variano al variare della lunghezza d'onda i diversi fattori, da cui complessivamente dipende la resistenza effi-

cace. La resistenza di radiazione diminuisce coll'aumentare del quadrato della lunghezza d'onda (curva 1, Fig. 172). La resistenza dei conduttori della presa di terra è presso a poco costante alle diverse lunghezze d'onda (curva 2). La resistenza del dielettrico aumenta quasi proporzionalmente colla lunghezza di onda (curva 3). La curva 4 è la somma delle curve 1, 2, 3. Se le perdite nel dielettrico sono assai piccole, la curva non ha un minimo, ma assume nel suo ramo di destra andamento orizzontale. Se esse sono trascurabili, la curva tende semplicemente ad un valore limite.

Per ridurre le perdite nel dielettrico, bisogna evitare che l'antenna abbia punti di contatto con edifici o alberi. Le perdite per correnti parassite si attenuano, curando che l'antenna sia ad una distanza conveniente da stralli, o da notevoli masse metalliche. Gli stralli debbono essere frazionati lungo la loro lunghezza da mocche isolanti. Sulle navi si hanno correnti indotte nelle masse di ferro e negli stralli vicini all'aereo, e nei casi, in cui la frequenza delle onde coincide colla frequenza naturale di oscillazione di questi corpi metallici, si hanno delle considerevoli perdite di energia. In corrispondenza di tali frequenze la curva sperimentale 4 della Fig. 172 presenterebbe delle anse, che indicherebbero appunto la presenza di notevoli perdite per correnti parassite. La resistenza efficace di un'antenna, alla sua frequenza naturale, raggiunge spesso i 20 o 30 ohm, con un minimo non inferiore a 5 o 10 ohm per una stazione terrestre, e a 2 ohm per una stazione navale.

144. Lunghezza d'onda e sua misura. — La lunghezza d'onda delle onde emesse da un'antenna senza induttanza e capacità aggiunte, dicesi « lunghezza d'onda naturale ». Inserendo in serie coll'antenna dell'induttanza, l'aereo irradia onde più lunghe, mentre, inserendo della capacità, esso irradia onde più corte dell'onda fondamentale. Conviene evitare per quanto è possibile, l'uso di condensatori in serie, poichè essi fanno diminuire la capacità totale del circuito d'antenna (capacità in serie, par. 35), e di conseguenza anche la quantità di energia, che può essere messa in giuoco. L'aggiunta di induttanze ha un effetto bene-

fico, poichè il decremento dell'antenna diminuisce, e l'onda irradiata si presta ad una sintonia più acuta. Non è conveniente però aggiungere all'aereo un'induttanza molto grande, perchè, essendo in tal caso le onde emesse molto più lunghe della fondamentale, l'antenna perde della sua attitudine a irradiare le onde. Come regola generale, le stazioni trasmettenti di piccola portata lavorano meglio con onde corte, mentre per le stazioni di grande potenza convengono le onde lunghe. Queste ultime hanno il vantaggio che nella trasmissione a grande distanza subiscono un assorbimento minore che le onde corte.

Misura della lunghezza d'onda di un'antenna. — In un'antenna semplice a filo verticale, collegata alla terra, la lunghezza d'onda fondamentale è leggermente superiore a quattro volte la lunghezza del filo. La costante, che si usa sovente è 4,2, e si applica con qualche approssimazione anche agli aerei piani orizzontali (del tipo a *L* od a *T*) con coda di entrata verticale, assumendo come lunghezza totale dell'aereo, lo sviluppo dei fili, che dagli apparati trasmettenti lungo la coda di entrata vanno fino all'estremo libero della parte orizzontale dell'antenna. É d'ordinario più facile, e sempre più esatto, misurare direttamente la lunghezza d'onda irradiata da un aereo, mediante un cimometro (par. 112). La misura si esegue, portando la bobina del cimometro in un punto vicino all'antenna o alla coda di entrata, e regolando il condensatore in modo da avere un massimo di corrente. La lunghezza d'onda corrispondente alla regolazione del condensatore del cimometro è quella delle onde irradiate dall'aereo. Staccando poi dall'aereo l'induttanza in serie ed il condensatore, se vi è, si può misurare la sua lunghezza d'onda naturale.

145. **Armoniche della lunghezza d'onda.** — Un circuito radiotelegrafico semplice ha una reattanza nulla alla sola frequenza di risonanza, e in tal caso esso è percorso dalla massima corrente possibile in relazione alla f. e. m. applicata. Ciò risulta rigorosamente vero, nella sola ipotesi che la capacità e l'induttanza siano concentrate in determinati punti del circuito. In un'antenna invece l'induttanza e la capacità sono distribuite, e in

questa condizione si realizzano dei massimi di corrente in corrispondenza ad un'intera serie di frequenze o lunghezze d'onda diverse.

La cosidetta « frequenza naturale di un aereo » è la più bassa di queste frequenze, quando però l'antenna non abbia capacità o induttanza aggiunte. Oltre a questa frequenza naturale si hanno per una stessa antenna altre frequenze di risonanza $3f$, $5f$, $7f$, etc, che diconsi « frequenze armoniche » dell'antenna. Cogli ordinari sistemi di produzione delle oscillazioni, un'antenna irradia principalmente onde della sola frequenza naturale; le oscillazioni, aventi frequenze armoniche, non compaiono in maniera sensibile. Tuttavia, quando all'antenna si applichino f. e. m. aventi frequenze armoniche, si possono avere in essa anche oscillazioni di ampiezza sensibile a quelle frequenze.

146. **Proprietà direttive.** — Si richiede spesso per scopi speciali che l'energia di un'antenna trasmettente sia prevalentemente irradiata in una determinata direzione. Si viene così ad accrescere la portata di una stazione in quella direzione, e se ne diminuisce l'interferenza con altre. Ancora più importante è l'attitudine di un'antenna a ricevere onde, che provengano da una direzione unica, rimanendo inattiva per onde, che provengano da altre direzioni. È questo un mezzo efficace per ridurre l'interferenza fra varie stazioni, in quanto che generalmente le stazioni interferenti non sono nella stessa direzione di quella colla quale si desidera corrispondere.

Un'altra applicazione assai importante delle proprietà direttive di un'antenna è la determinazione del punto, mediante rilevamenti radiogoniometrici. Sia C, Fig. 173, una stazione trasmettente, le cui onde arrivino alla stazione ricevente A da una direzione, che fa l'angolo Y col meridiano, e ad una seconda stazione ricevente B da una direzione, che fa col meridiano l'angolo Y; è possibile determinare la posizione delle stazioni A, B, C, quando si conoscano la distanza AB e gli angoli X ed Y. Se C è una stazione nemica, essa può essere individuata, determinando dalle stazioni riceventi A e B di posizione nota, la direzione, secondo cui le onde provengono da essa. Se invece sup-

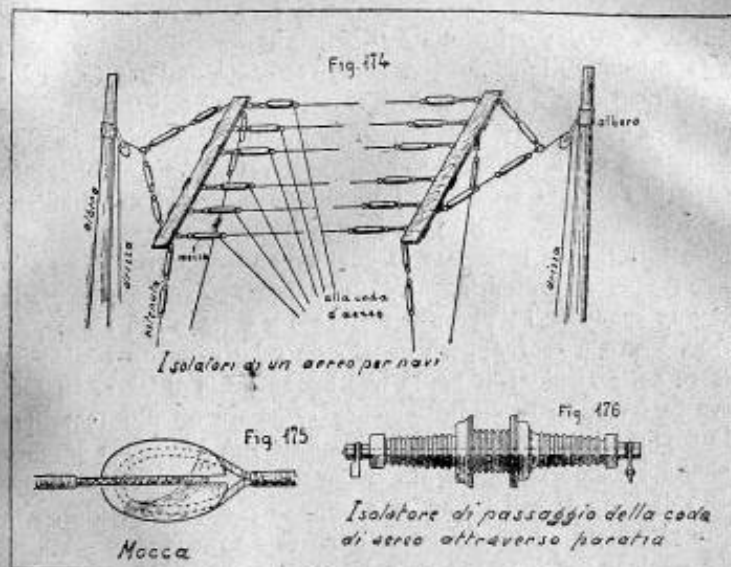
poniamo che *C* sia una stazione radiotelegrafica, che stia trasmettendo, una nave può anche con tempo nebbioso determinare la sua posizione incognita *A* nella maniera seguente: essa misurerà la direzione di *C*, poi navigherà per un dato percorso *AB*, e dalla sua nuova posizione *B* misurerà nuovamente la direzione di *C*. Coi metodi della navigazione stimata si potrà tener conto del percorso compiuto; e riferire ad *A* il rilevamento radiogoniometrico *C* misurato nel punto *B*. Anche con tempo chiaro è opportuno poter controllare le osservazioni astronomiche, fatte per determinare il punto nave, poichè in prossimità della costa un piccolo errore di osservazione può avere conseguenze assai gravi.

Tutte le forme di antenne disimmetriche, come quelle ad *L* rovesciato o a *V*, hanno caratteristiche in parte direzionali. I cosidetti aerei di terra danno trasmissioni notevolmente migliori nella direzione della loro lunghezza che nella direzione ad essa perpendicolare. Gli aerei a telaio posseggono però particolari qualità direttive. Altri dettagli relativi a questo argomento si daranno in appresso, nei par. 151, 152.

G. Costruzione dell'aereo.

147. Alberi e sostegni. — Nelle stazioni terrestri si impiegano spesso alberi di legno. Se l'antenna è portatile, essa si costruisce, connettendo insieme varie aste di legno, che vengono grossolanamente nel loro complesso ad assumere l'aspetto di una canna da pesca. Per stazioni di potenza elevata, si preferiscono alberi in traliccio metallico ed in qualche caso alberi tubolari metallici a cannocchiale. In generale per sostenere l'antenna occorrono cavi metallici o stralli. È vantaggiosa la struttura, che permette all'albero una piccola libertà di movimento, in modo da resistere elasticamente all'azione del vento. Un'antenna costituita da un filo semplice può essere convenientemente sospesa ad un supporto qualunque. Se l'areo è sostenuto da un albero, conviene fissare l'estremità dell'aereo a una drizza fornita di mocca isolante, che gli permetta di fare una via quanto possibile discosta

dall'albero. Il padiglione orizzontale degli aerei di bordo è sostenuto dagli alberi della nave, e i fili d'aereo sono distesi fra due pennoncini portati dagli alberi stessi.

148. Isolatori. — L'isolamento dell'antenna richiede cure scrupolose e si può conseguire in vari modi. La **Fig. 174** rappresenta uno dei sistemi usati per isolare un'antenna di bordo. Nel caso di antenne per grandi stazioni terrestri, gli stralli devono essere frazionati da apposite mocche isolanti; queste si costruiscono in

porcellana, ebonite o altre sostanze isolanti, e in generale presentano due scanalature, in cui fanno dormiente le due estremità dello strallo. Nella Fig. 175 è rappresentato un isolatore di porcellana di forma pressochè sferica, atto a stabilire la connessione meccanica fra due tratti di un cavo, senza però che essi possano venire a contatto fra di loro. Questo tipo di mocca ha una struttura tale, che, anche rompendosi l'isolatore, i due tratti di cavo restano collegati fra di loro.

Sono necessarie cure speciali per assicurare un buon isolamento, nel punto in cui i fili della coda di entrata dell'aereo attraversano i muri dell'edificio, per raggiungere gli apparati trasmettenti e riceventi. In Fig. 176 è indicato un dispositivo assai comune per raggiungere tale scopo. Nel caso di grandi antenne, conviene isolare dalla terra alla sua base anche l'albero di sostegno. Non è cosa semplice realizzare un isolatore, che riunisca ad una sufficiente resistenza meccanica buone proprietà dielettriche.

149. **Commutatore d'antenna. Conduttori.** — In tutte le stazioni r. t. troviamo installato il commutatore d'antenna. Esso ha la funzione di sconnettere completamente dall'antenna l'apparato ricevente, quando si deve trasmettere e viceversa. Il commutatore deve essere congegnato in modo da escludere la possibilità che, per uno sbaglio dell'operatore, si applichi all'apparato ricevente l'elevata tensione di trasmissione. Poichè nei fili d'antenna si hanno correnti di frequenza elevatà, la resistenza dei conduttori risulta maggiore di quella che essi offrirebbero alle basse frequenze ordinarie (par. 177). Si usano comunemente per le antenne conduttori di bronzo fosforoso a sette o più trecce.

150. **Terre e contrappesi.** — È cosa relativamente facile realizzare nelle stazioni di bordo una buona presa di terra. In una nave in ferro, basta semplicemente collegare un filo metallico allo scafo della nave, e la buona conduttività dell'acqua di mare assicura l'intimo collegamento richiesto. Su una nave in legno, il filo di terra si collega ad una grande piastra metallica, che viene sistemata su un fianco dello scafo sott'acqua.

In qualche stazione terrestre la realizzazione di una buona presa di terra si presenta spesso molto laboriosa: in tal caso si è costretti a seppellire nella terra umida un considerevole numero di lastre di rame o grossi fili, disposti radialmente intorno alla base dell'antenna. Si cerca in generale di assicurare una notevole superficie di contatto fra il materiale conduttore e la terra umida. I contrappesi sono specialmente utili, quando il suolo è asciutto o roccioso, o quando non si ha tempo di stabilire una conveniente presa di terra. Un contrappeso può essere co-

stituito da una larga superficie metallica di filo a treccia, sospesa parallelamente al suolo o giacente su di esso; si possono invece anche disporre radialmente intorno alla base dell'antenna dei fili isolati, a breve distanza dal suolo. La quantità di filo, di cui il contrappeso è costituito, non deve essere inferiore a quella impiegata nell'antenna. Quando l'antenna non è in funzione, va sempre messa alla terra, mediante apposito commutatore, che ha lo scopo di garantire gli apparecchi da possibili avarie, per effetto di scariche atmosferiche o di fulmini.

H. Aerei a telaio.

Per quanto gli aerei a telaio non siano dei radiatori e dei ricevitori di onde elettriche tanto efficaci quanto gli aerei ad antenna, essi posseggono notevoli proprietà direttive; per cui si usano di preferenza in quegli impianti, nei quali queste proprietà assumono particolare importanza. Volendo trasmettere in una direzione unica, si adopera molto comunemente un aereo ad *L* rovesciato; ma per la ricezione direttiva generalmente si preferisce un telaio. L'intensità relativa dei segnali ricevuti con un aereo ad antenna e con un aereo a telaio può essere calcolata con le formule per la trasmissione date nel par. 134.

Il problema di limitare l'irradiazione delle onde ad un determinato settore di orizzonte non è stato però ancora soddisfacentemente risolto. Man mano che le onde si propagano, la fronte dell'onda ha una notevole tendenza a divenire sferica, perdendo così la forma iniziale, che aveva in prossimità del radiatore.

Il problema di determinare la direzione, dalla quale le onde giungono alla stazione ricevente, si presta invece ad una soddisfacente soluzione, usando aerei a telaio, cioè degli aerei costituiti semplicemente da una bobina piatta di un certo numero di spire.

151. **Curva direttiva.** — La Fig. 177 rappresenta graficamente il modo di variare della corrente ricevuta da un telaio, quando esso si faccia ruotare in modo da formare angoli differenti colla direzione di provenienza delle onde. Sia *AB* la direzione delle

onde in arrivo. Se *OA* rappresenta la corrente ricevuta, quando il piano del telaio è orientato nella direzione *AB*, allorchè il telaio ruota fino a portarsi col suo piano nella direzione *MN*, la corrente ricevuta si riduce da *OA* ad *ON*. Quando il piano del telaio forma un angolo retto colla direzione delle onde, la linea *MN* diviene tangente ai due cerchi, e il segmento *ON* si annulla. Non si riceve corrente alcuna, quando il piano del telaio è normale alla direzione delle onde in arrivo. Poichè il diagramma è simmetrico, la corrente ricevuta dal telaio in due sue posizioni l'una a 180° dall'altra, quali, ad esempio, *OA* ed *OB*, oppure *ON* ed *OM*, è la stessa: da ciò una causa di ambiguità nella determinazione della direzione della stazione trasmettente. In generale però intervengono altri elementi, in base alla considerazione dei quali l'operatore può determinare in quale delle due possibili direzioni sta la stazione trasmettente.

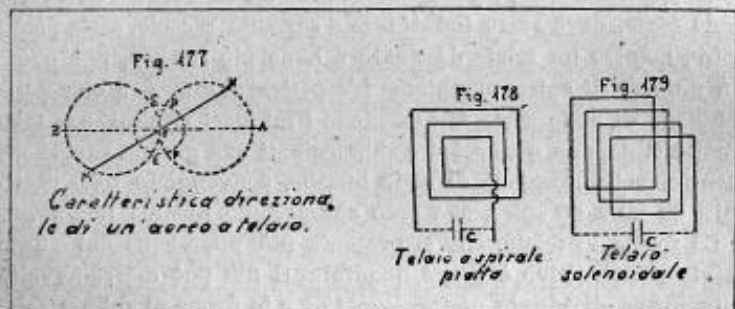
Per fare una misura di direzione, si collega il telaio, disposto col suo piano verticale, ad un condensatore variabile, così da costituire un circuito oscillante; ed il circuito si sintonizza, mediante il condensatore, per la lunghezza delle onde in arrivo. Dalle armature del condensatore si deriva un dispositivo raddrizzatore conveniente. Per individuare la posizione del piano del telaio si usa un cerchio orizzontale opportunamente graduato. Il telaio si fa quindi ruotare intorno al suo asse verticale, fino a che i segnali scompaiono. Generalmente si ha una zona di posizioni angolari del telaio, nelle quali il ricevitore non accusa corrente alcuna. Ciò risulta chiaro dall'esame della Fig. 177. Se il raggio del cerchio, tracciato col centro in *O*, rappresenta la corrente minima, capace di azionare il circuito ricevitore, è evidente che, per posizioni del telaio comprese negli angoli *COD* ed *EOF*, non si riceverà alcun segnale.

Per determinare la direzione delle onde, si tiene conto delle letture sul cerchio graduato corrispondenti alle posizioni *C* e *D* del telaio, nelle quali i segnali rispettivamente scompaiono e divengono percettibili, e poi si fa ruotare il telaio di circa 180° e si individuano le due posizioni simmetriche *E* ed *F*. Prendendo la media delle letture in *C* e *D*, ed *E* ed *F*, si può de-

terminare la posizione del telaio, che è a 90° dalla direzione di provenienza delle onde. Il cerchio graduato viene stabilmente orientato collo zero nella direzione del nord, per modo che le letture indichino direttamente in gradi la direzione delle onde riferite al meridiano. È possibile determinare la direzione della stazione trasmettente coll'approssimazione di 1° o 2°, purchè il telaio non sia in vicinanza di masse metalliche capaci di produrre la distorsione del fronte d'onda. Trascurando questa precauzione, le determinazioni di direzione possono essere facilmente affette da errori dell'ordine anche di 15°, e nel caso di onde molto corte, anche da errori più gravi. Se le masse metalliche prossime all'apparato radiogoniometrico non possono esserne al-

Caratteristica direzionale di un aereo a telaio.

Telaio a spirale piatta

Telaio solenoidale

lontanate, ed è questo ad esempio il caso, che si verifica nelle navi e negli aereoplani, è possibile sperimentalmente misurare le deviazioni, che affettano i rilevamenti radiogoniometrici, raccogliere i risultati in apposite tabelle, ed applicare poi, caso per caso, le opportune correzioni.

152. Caratteristiche degli aerei a telaio. — La corrente ricevuta da un aereo a telaio è tanto più intensa, quanto maggiore è il numero delle spire di filo, l'area da esse racchiusa, e la loro induttanza: varia in ragione inversa della loro resistanza e del quadrato della lunghezza d'onda. Le formule, che danno l'intensità della corrente, ricevuta da un telaio, sono riportate nel par. 134.

Sembrerebbe a prima vista che l'aumento di resistenza, dovuto all'aumento del numero delle spire e della loro area dovesse essere compensato dal rapido accrescimento corrispondente dell'induttanza. Tuttavia, la resistenza offerta dal telaio alle correnti ad alta frequenza è funzione della lunghezza d'onda, ed aumenta rapidamente, man mano che ci si avvicina al valore della lunghezza d'onda naturale del telaio stesso. Tale lunghezza d'onda naturale è quella, che il telaio irradia, quando non ha alcun condensatore in derivazione, e la sua capacità è semplicemente quella esistente fra le sue spire (par. 114 e 115). Come norma di massima si può stabilire che un aereo a telaio non si deve usare per ricevere onde più corte del doppio o del triplo della sua lunghezza d'onda naturale. Quindi un telaio, atto a ricevere onde corte, deve avere induttanza e capacità piccole, ossia poche spire, mentre un telaio destinato a onde più lunghe, può avere un numero di spire maggiore. L'esperienza dimostra che nella ricezione di onde corte si ottengono i migliori risultati con telai costituiti da una o due spire abbraccianti una grande superficie, mentre, nella ricezione di onde lunghe, convengono telai costituiti da 20 a 30 spire, che però abbracciano un'area minore.

La forma di telaio, che si presenta più opportuna dal punto di vista costruttivo, è quella quadrata. Il filo può essere avvolto o in forma di spirale piatta, Fig. 178, o in forma di spirale solenoidale, Fig. 179. Le spirali piatte hanno poche spire, poichè quelle interne, man mano che l'area diminuisce, divengono rapidamente meno efficaci. Il passo del filo si determina in base alla capacità, che si vuole conseguire.

Per un telaio di determinate dimensioni, la capacità aumenta coll'aumentare del numero delle spire, dapprima rapidamente, poi più lentamente. Essa cresce sensibilmente coll'aumentare del numero delle spire, quando le spire sono vicinissime, e più lentamente, se esse sono relativamente lontane; ed esiste un intervallo critico fra le spire, al di là del quale l'aumento del loro numero non ha influenza sulla capacità del telaio.

In un telaio quadrato di m. 2,44 di lato, i fili devono essere ad un intervallo di almeno mm. 8,89; in uno di m.^{2} 0,37, ad al-

meno 5 mm.; ed in uno di m. 0,60 di lato a mm. 3,18. Se si aumenta l'intervallo tra le spire, l'induttanza del telaio diminuisce; nello stesso tempo si riduce anche la capacità. Per una data lunghezza di filo, avvolto ad un opportuno intervallo fra le spire, la lunghezza d'onda naturale del telaio risulta praticamente indipendente dalle dimensioni di esso, come è illustrato dalla tavola seguente, che si riferisce ad una lunghezza di filo di circa 30 metri.

Caratteristiche degli aerei e telaio.

Lunghez. di un lato del quadr. (m.)	Numero delle spire	Intervallo tra i fili (mm)	Induttanza μH	Capacità μF	Lunghez. d'onda fondamentale (m)
2,44	3	12,70	96	75	160
1,83	4	6,35	124	66	170
1,22	6	6,3[illegible]	154	55	174
0,92	8	3,18	193	49	183

Su questi telai va derivato un condensatore di capacità sufficiente per la risonanza a 500 o 600 metri. Di essi il primo sarebbe particolarmente adatto per lunghezze d'onda di quest'ordine, data la sua piccola resistenza efficace e la sua area maggiore.

L'intensità dei segnali ricevuti da telai in attenzione per trasmissioni, provenienti da stazioni da campo, è naturalmente assai piccola. Se invece la stazione trasmettente è di grande potenza, i telai, usati come aerei riceventi, hanno dato dei risultati sorprendenti. Così a Washington si sono udite le grandi stazioni transatlantiche Europee con aerei a telaio, ed amplificatori a triodi. Un esempio, che costituisce un record, si ebbe in Francia, dove si è riusciti a ricevere da tutte le grandi stazioni Europee mediante un telaio di soli 18 cm² di superficie e 200 spire.

CAPITOLO 5.

APPARECCHI DI TRASMISSIONE E RICEZIONE
(Esclusi i triodi)

A. Apparati trasmettenti a onde smorzate.

153. **La funzione dell'apparato trasmettente.** — Le onde elettriche, per mezzo delle quali le comunicazioni radiotelegrafiche si effettuano, si generano per mezzo degli apparati trasmettenti. La potenza occorrente può essere fornita da un generatore elettrico qualunque di corrente continua o alternata, che deve poi essere convertita in corrente ad alta frequenza. Questa, circolando nell'aereo trasmettente, dà origine ad onde elettriche, che si propagano attraverso lo spazio. Le onde possono essere persistenti o smorzate. Queste consistono in gruppi o treni di oscillazioni, che si seguono a intervalli regolari; in ciascun treno l'ampiezza delle oscillazioni diminuisce con continuità. Il numero dei treni d'onda al secondo è dell'ordine delle frequenze telefoniche. Quando una successione di treni di onde colpisce un aereo ricevente, dà origine nel telefono ad un suono di una determinata nota. La trasmissione si esegue per mezzo di un tasto da segnalazione, che permette l'emissione dei treni d'onda per un breve intervallo di tempo (se si vuole trasmettere un punto) o per un intervallo maggiore (se si vuole trasmettere una linea).

Le caratteristiche delle trasmissioni ad onde smorzate sono da molti punti di vista analoghe a quelle ad onde persistenti: cosicchè molto di ciò, che si dirà a proposito degli apparati trasmettenti ad onde smorzate, potrà egualmente bene applicarsi anche agli apparati ad onde persistenti. Si descriveranno dapprima gli ap-

parati ad onde smorzate, perchè semplici, facilmente regolabili, e particolarmente adatti per le stazioni radiotelegrafiche da campo di limitata portata.

154. Apparati trasmettenti a scintilla. — Le oscillazioni smorzate si producono, quando un condensatore si scarica in un circuito contenente induttanza. Il condensatore si dispone in serie con uno spinterometro e gli si applica una tensione sufficientemente elevata, perchè la scintilla possa scoccare attraverso lo spazio spinterometrico. Come già si disse nel par. 115, le oscillazioni, che si producono per effetto della scarica dei condensatori, sono oscillazioni smorzate, che si spengono rapidamente.

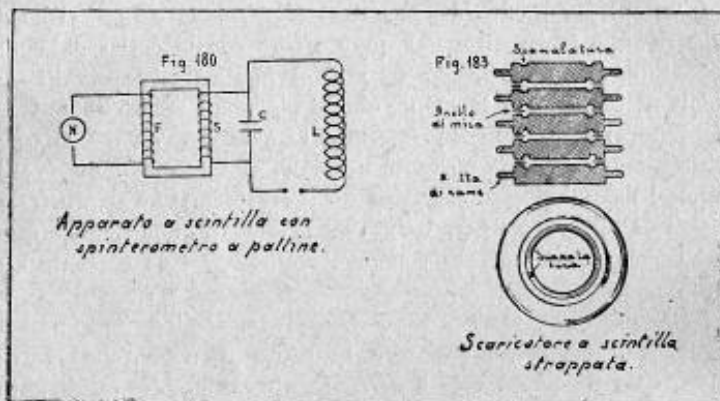
I metodi per produrre una successione regolare di scariche si illustreranno in seguito. Per quanto riguarda la carica del condensatore, basterà dire che ad esso si applica ad intervalli regolari di tempo una tensione, che si eleva col mezzo di un trasformatore: attraverso il primario del quale si invia o una corrente alternata o una corrente continua, interrotta a intervalli regolari da un vibratore, azionato dal trasformatore stesso (rocchetto di induzione: par. 157). Trattiamo dapprima degli apparati trasmettenti a scintilla smorzata alimentati da corrente alternata.

Nella Fig. 180, P ed S sono rispettivamente il primario ed il secondario di un trasformatore in salita (par. 58), che riceve energia da un generatore a corrente alternata. L'avvolgimento del primario è isolato per una tensione di 110 volt; mentre nel secondario la tensione può raggiungere valori compresi fra 5000 e 20.000 volt. L'alta tensione prodotta dal trasformatore carica il condensatore C, che viene così ad accumulare energia. Quando la tensione fra le armature del condensatore raggiunge un valore sufficientemente elevato, lo spazio spinterometrico è squarciato da una scintilla, ed il condensatore si scarica, dando origine a correnti oscillatorie nel circuito, che contiene l'induttanza L (par. 115). Queste correnti oscillatorie non possono rovesciarsi sul secondario del trasformatore, che offre ad esse un'impedenza notevole: per meglio proteggerlo, spesso si inseriscono fra il secondario stesso e il condensatore degli avvolgimenti di pro-

tezione (non rappresentati in Fig. 180) detti chokers, i quali, pur impedendo il passaggio alle correnti ad alta frequenza, lasciano passare la corrente di alimentazione a bassa frequenza, che carica il condensatore. La Fig. 181 rappresenta un trasformatore per apparati radiotelegrafici trasmettenti.

La frequenza più comune della corrente alternata di alimentazione è di 500 periodi al secondo, il che significa che la frequenza di scarica del condensatore è di 1000; il condensatore cioè si scarica in corrispondenza di ciascun massimo positivo e negativo della tensione, se la lunghezza dello spazio spintero-

Apparato a scintilla con spinterometro a palline.

Scaricatore a scintilla strappata.

metrico è tale che per la tensione massima fornita dal trasformatore la scintilla può scoccare. Il numero delle scintille al secondo dicesi « frequenza della scintilla ». Con una frequenza di scintilla pari a 1000, la potenza messa in giuoco è notevolmente maggiore di quella, che si avrebbe, se la frequenza di scintilla fosse di 60 periodi al secondo, in quanto che in questo caso le onde radiotelegrafiche irradiate si approssimano più da vicino ad onde continue, come si vedrà in seguito. I treni d'onde infatti investono l'aereo ricevente un numero maggiore di volte al secondo, e l'ampiezza delle oscillazioni, a parità di potenza trasmessa, può essere inferiore a quella richiesta da treni d'onde

meno frequenti. Inoltre una frequenza più elevata dà luogo nel telefono ricevente ad una nota più acuta, per la quale l'orecchio umano è più sensibile, ed è più facile distinguere la trasmissione dai rumori dovuti ai disturbi atmosferici. Si può tuttavia usare una corrente alternata di alimentazione di frequenza 60 periodi, aumentando il numero delle scintille al secondo per mezzo di uno spinterometro rotante, che dia luogo a molte scariche in ciascun periodo (par. 156).

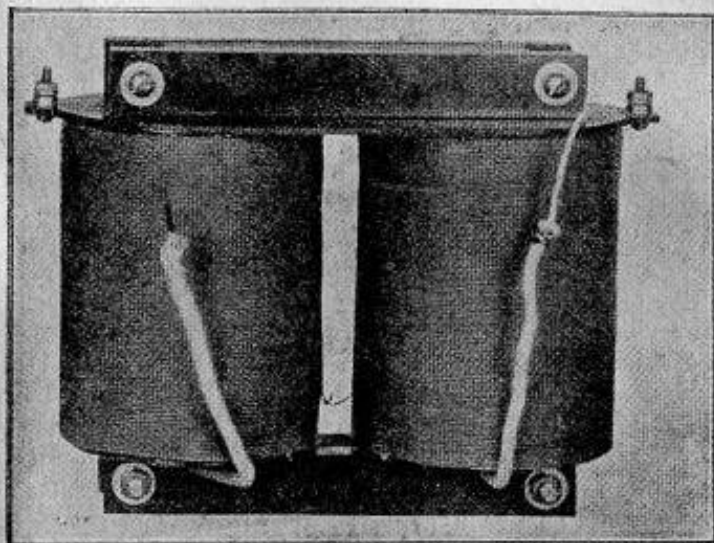



Fig. 191. — Trasformatore in salita per la carica della batteria di condensatori

Ciascuna scarica del condensatore produce nel circuito un treno di oscillazioni, ed ogni treno di oscillazioni è costituito da onde di corrente, la cui ampiezza va man mano diminuendo (Fig. 192). Si dirà nel par. 160 delle lunghezze relative dei treni di oscillazione in confronto agli intervalli di tempo ai quali si succedono.

155. **Condensatori di trasmissione.** — Prima di discutere sui

mezzi opportuni per trasferire le oscillazioni sulle antenne, descriviamo gli apparecchi, che si usano per generare le oscillazioni.

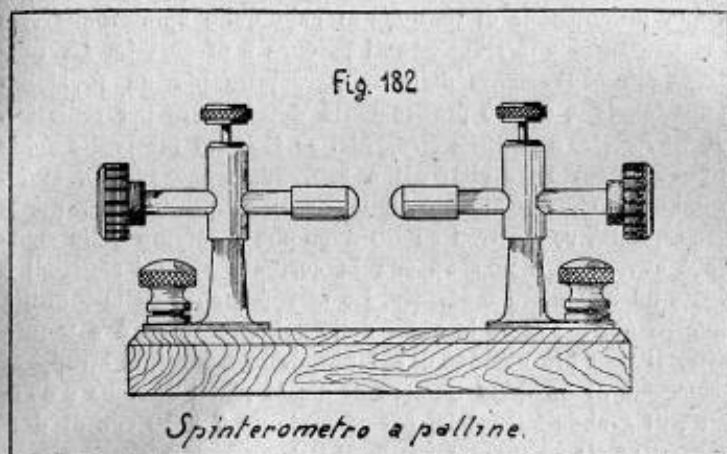
I tipi di condensatori, che ricorrono più comunemente nei circuiti trasmettenti, hanno come dielettrico la mica o il vetro, e le armature costituite di sottili fogli di stagnola o di rame. Talvolta si usano condensatori ad aria o ad olio, che però presentano l'inconveniente di essere più ingombranti. Le armature dei condensatori destinati a sopportare altissime tensioni si immergono nell'olio, per impedire gli effluvi degli orli, i quali, nel caso di tensioni moderate, si combattono soddisfacentemente rivestendo di paraffina le lastre di vetro, specialmente in corrispondenza degli orli delle armature metalliche. Per il calcolo delle dimensioni di un condensatore di trasmissione vedi par. 170.

156. **Spinterometri a scintilla.** — Quando lo spazio spinterometrico è squarciato dall'alta tensione, diviene conduttore e permette il passaggio delle oscillazioni originate dalla scarica del condensatore. Nell'intervallo fra l'una e l'altra scarica, lo spazio spinterometrico si raffredda e perde le sue proprietà conduttive (par. 160 e Fig. 193). Se ciò non avvenisse, il condensatore non potrebbe ricaricarsi, perchè sarebbe corto circuitato dallo spazio spinterometrico, e successivamente non potrebbero prodursi altre oscillazioni. Il ripristinarsi delle proprietà isolanti dello spazio spinterometrico suole indicarsi col termine di « strappamento della scintilla ». In questo stesso paragrafo sarà in seguito descritto un dispositivo, che permette un rapidissimo strappamento della scintilla stessa. Nel par. 167 sarà poi accennato ad altre precauzioni, che sono divenute di uso corrente, allo scopo d'impedire l'archeggiare dello spinterometro.

Spinterometro semplice. — Uno scaricatore a scintilla, nella sua forma più semplice, consiste di due sbarre metalliche, disposte in modo che lo spazio fra le loro estremità affacciate possa essere regolabile con grande precisione (Fig. 182). È importante che lo spinterometro non si riscaldi, per evitare la formazione dell'arco; per tale ragione si dà agli elettrodi, fra i quali avviene la scarica, una superficie piuttosto ampia, e spesso si provvedono anche di alette irradiatrici del calore. Un soffio d'aria

attraverso lo spinterometro aiuta inoltre notevolmente il processo di ricarica del condensatore, in quanto che l'aria ionizzata, alla quale si deve il potere conducente dello spazio spinterometrico, viene da esso rimossa. La superficie degli elettrodi, là dove avviene la scarica, si ossida: se gli elettrodi sono di zinco o di magnesio, l'ossido si forma lentamente e tosto scompare, per modo che non riesce dannoso al regolare funzionamento dello spinterometro. Con elettrodi invece costituiti da altri metalli, l'ossidazione è notevole ed è così rapida da rendere il funzionamento dello spinterometro instabile ed irregolare.

Fig. 182

Spinterometro a palline.

In un condensatore la quantità di elettricità accumulata sulle armature ad ogni carica è proporzionale alla tensione applicata (par. 30), e questa si può regolare, allungando o accorciando lo spazio spinterometrico, in modo da realizzare al principio della scarica un conveniente valore di essa. La lunghezza dello spazio spinterometrico da usare dipende: dalla tensione, che il trasformatore è capace di produrre, dalla rigidità del dielettrico, che costituisce lo spazio spinterometrico, e dal fatto che, per avere dei segnali intellegibili, la scintilla di scarica deve avvenire ad

intervalli regolari di tempo. Se lo spazio spinterometrico è troppo lungo, le scariche non avvengono, o si hanno solo ad intervalli irregolari, e il condensatore può subire delle avarie. Se lo spazio è troppo corto, può facilmente formarsi l'arco e quindi gli elettrodi sono soggetti a deteriorarsi. La formazione dell'arco produce un corto circuito del trasformatore, e le notevoli correnti, che in tale ipotesi passano attraverso lo spinterometro, interferiscono colle oscillazioni ad alta frequenza. L'arco ha un colore giallastro e si distingue facilmente dal bianco bluastro delle scintille, che si hanno a funzionamento normale. Con uno spazio spinterometrico troppo corto, anche se non ha luogo la produzione dell'arco, si ha una diminuzione di tensione ai capi dello spinterometro, e di conseguenza una riduzione di potenza e di portata. La lunghezza più conveniente dello spinterometro per un funzionamento regolare, si può praticamente determinare per tentativi.

Spinterometro a scintilla strappata. — Con un intervallo spinterometrico corto fra elettrodi a raffreddamento rapido, si ha un immediato strappamento della scintilla; perchè l'aria perde le sue qualità conduttrici subito dopo che la rottura della scintilla è avvenuta, o non appena la corrente tra gli elettrodi è discesa ad un valore moderato. Lo strappamento della scintilla è ancora più netto, se la cassa dello spinterometro è a tenuta d'aria. Il tipo più comune di spinterometro a scintilla strappata si compone di un certo numero di dischi piatti di rame o d'argento, di grande superficie, per esempio da 7 a 10 cm. di diametro, disposti ad un intervallo di 0,2 mm. Per realizzare la lunghezza di intervallo spinterometrico. conveniente per la carica ad alta tensione del condensatore, si dispongono in serie parecchi di questi piccoli spazi, che, l'uno dopo l'altro, sono tutti attraversati dalle scintille. I dischi sono separati fra loro da anelli di mica o di carta (Fig. 183). La Fig. 184 rappresenta uno spinterometro a scintilla strappata, di tipo largamente usato; un ventilatore, azionato da apposito motore, serve a raffreddare i dischi. Questi hanno generalmente delle alette radiatrici del calore fra le coppie di dischi, che formano i successivi spazi spinterometrici. Il numero degli spazi è definito dalla ten-

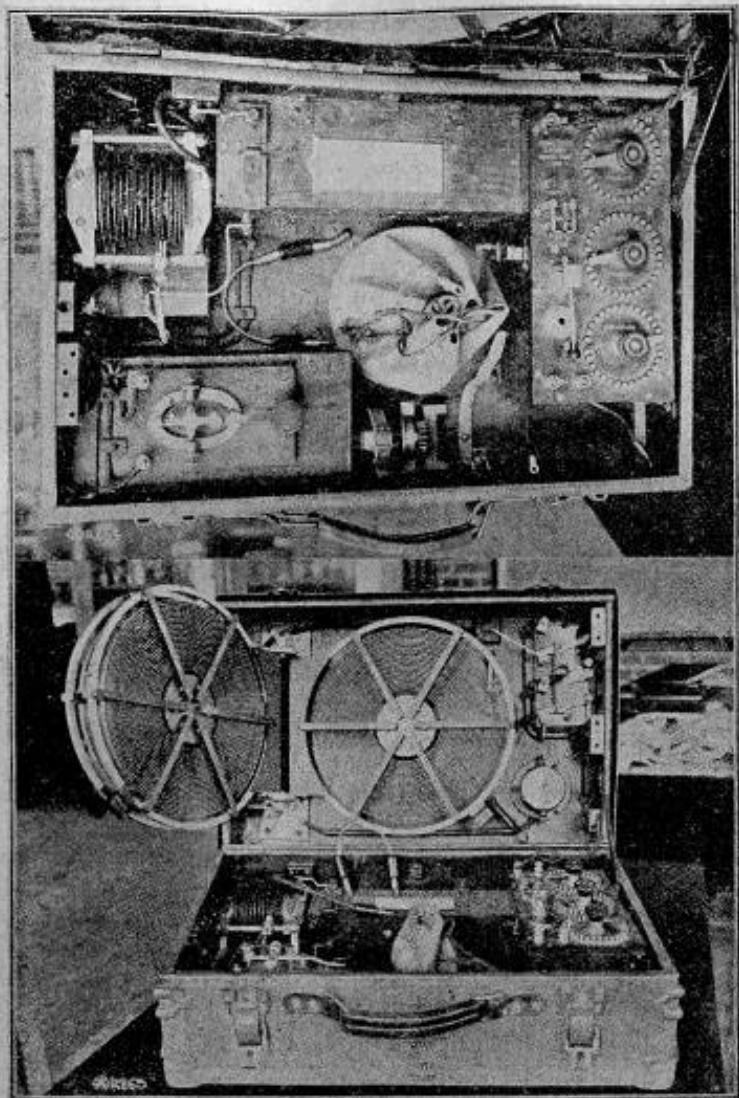
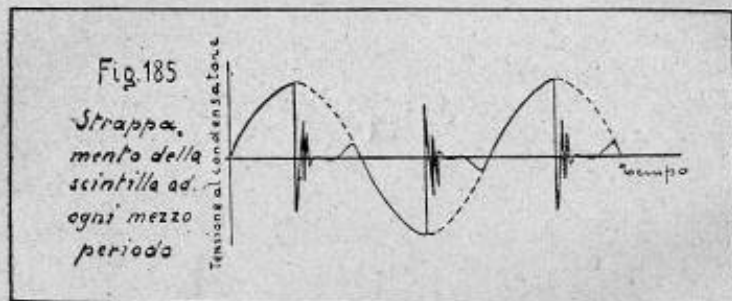



Fig. 184. — Apparato r. f. trasmettente e ricevente portatile. Nella cassetta, in fondo a sinistra, è visibile lo spinterometro a scintilla strappata.

sione di funzionamento, che, fra i due dischi esterni, non supera 1200 volt. Sono sufficienti in generale 8 o 10 spazi spinterometrici elementari.

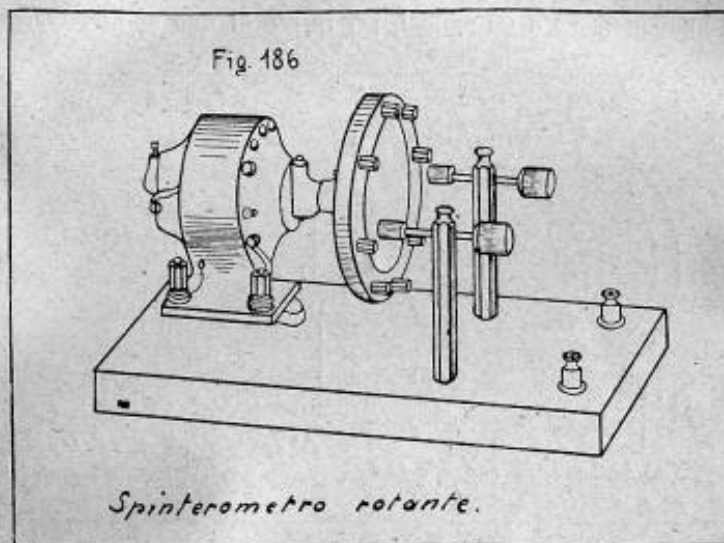
Lo spinterometro a scintilla strappata non si usa nei complessi, aventi una frequenza di alimentazione inferiore a 60 periodi al secondo: con questa frequenza di alimentazione le scintille sarebbero irregolari e di nota cattiva; si usa invece in questi casi uno spinterometro rotante, come verrà detto in seguito. Se la corrente di alimentazione ha la frequenza di 500 periodi, si preferisce uno spinterometro a scintilla strappata, e la lunghezza dell' intervallo spinterometrico si regola in modo, che la scintilla scocchi nell' istante, in cui la tensione applicata passa per

Fig. 185 Strappamento della scintilla ad ogni mezzo periodo

il suo valore massimo: si ha in tal guisa una scintilla per ogni mezzo periodo della f. e. m. (Fig. 185). Le scariche non sono possibili negli istanti intermedi, e in virtù di questa regolarità la nota che ne risulta è netta. Lo spinterometro a scintilla strappata è quello normale per potenze superiori ai 10 kW. Un vantaggio dello spinterometro a scintilla strappata, cui non si è ancora accennato, è che esso concorre alla produzione delle cosidette onde pure. Di ciò si parlerà nel par. 163. In relazione alla breve lunghezza dei singoli spazi spinterometrici e del fatto che la scintilla avviene in una camera chiusa, questo tipo di scaricatore è inoltre poco rumoroso,

Spinterometro rotante. — Lo spinterometro rotante è costituito

da un disco, munito di punte o di denti sporgenti, che si muove fra due elettrodi fissi (Fig. 186). La scintilla scocca fra un elettrodo fisso ed una delle punte in mòto; la corrente attraversa il disco, e, dopo aver superato lo spazio spinterometrico corrispondente dall'altro lato, si scarica all'altro elettrodo fisso. Il numero di scintille al secondo è in tal modo definito dalla velocità del disco, che è azionato da un motore; cosicchè è possibile trasmettere segnali di una nota molto acuta. (Vedi in Fig. 187

Fig. 186

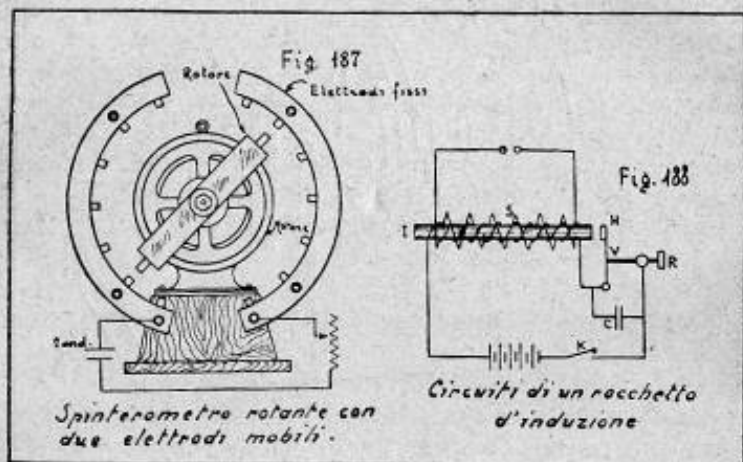
Spinterometro rotante.

un altro tipo di spinterometro rotante). Uno dei vantaggi dello spinterometro rotante è di impedire la formazione dell'arco, per effetto del suo movimento, della ventilazione che produce, e perchè gli elettrodi, che si presentano successivamente agli spazi spinterometrici, hanno tempo di raffreddarsi negli intervalli di pausa.

Nel caso di uno spinterometro rotante « sincrono » la velocità di rotazione del disco è tale che le punte si affacciano agli elettrodi fissi, nel momento esatto, in cui la tensione fra le arma-

ture del condensatore raggiunge il suo valore massimo positivo e negativo. Così 500 periodi produrranno 1000 scariche al secondo. Il succedersi delle scariche ad intervalli fissi regolarizza la trasmissione e dà origine ad un suono di nota musicale pura. Il sincronismo si realizza, calettando l'elemento rotante dello spinterometro sull'asse stesso del generatore, che fornisce la corrente di alimentazione. Uno spinterometro rotante, in cui tale sincronismo non si verifichi, dicesi « asincrono ».

Tentativi fatti per ottenere una nota acuta, usando corrente di alimentazione a 60 periodi, per mezzo di uno spinterometro

Spinterometro rotante con due elettrodi mobili.

Circuiti di un rocchetto d'induzione

sincrono capace di dare esattamente 6 scintille ad ogni semiperiodo, non hanno dato risultati soddisfacenti; in quanto che la tensione applicata non ha lo stesso valore nei vari istanti, in cui si producono le scintille, e la nota prodotta, pur essendo acuta, non è musicale. Si è trovato più vantaggioso in tal caso ricorrere ad uno spinterometro asincrono, che produca un gran numero di scariche al secondo, in istanti qualunque del periodo, provvedendo a correggere in parte l'irregolarità, con cui le scintille si susseguono. Si ha così un suono di nota non esat-

tamente musicale, ma tuttavia acuta. Lo spinterometro asincrono si usa quindi nel solo caso che si disponga soltanto di una frequenza di alimentazione non superiore ai 60 periodi. Negli impianti moderni si evitano però frequenze di questo ordine, e la frequenza normalmente adottata è quella di 500 periodi al secondo, con decisa tendenza a raggiungere una frequenza di alimentazione di 900 periodi.

Lo spinterometro semplice non ricorre che nei complessi di potenza minima; normalmente si impiegano spinterometri a scintilla strappata o spinterometri rotanti. Nello spinterometro semplice infatti non si ha una buona disionizzazione dell'intervallo spinterometrico, che permetta la ricarica del condensatore; ed è molto difficile e quasi impossibile impedire la formazione dell'arco, quando la potenza messa in giuoco è notevole, specialmente se si richiede, come d'ordinario, un gran numero di scintille al secondo. In confronto allo spinterometro a scintilla strappata, quello rotante incontra meno favore, perchè è assai rumoroso. Sugli aereoplani l'impiego dello spinterometro rotante azionato da un piccolo motore a vento, presenta lo svantaggio che la nota emessa varia col variare della velocità e della rotta dell'aereoplano.

157. — **Apparato trasmettente a rocchetto d'induzione.** — Per le comunicazioni a brevi distanze, nelle trincee, ed in generale per potenze inferiori a $\frac{1}{4}$ kW, la carica del condensatore si effettua, anzichè mediante un complesso costituito da un alternatore e da un trasformatore, con un rocchetto d'induzione. Lo schema del circuito di un rocchetto d'induzione è indicato in Fig. 188. P è l'avvolgimento primario composto di poche spire (linee grosse); S è il secondario formato di molte spire di filo sottile; I è un nucleo di ferro magnetizzato dalla corrente primaria; H è il martelletto vibrante, la cui distanza dal nucleo I è regolabile mediante la vite R; C è un condensatore di pochi microfarad, che shunta i contatti dell'interruttore, per evitare le bruciature prodotte dalle extracorrenti. I contatti dell'interruttore V sono d'argento e ricambiabili.

Non appena si chiude la chiave K, l'avvolgimento primario è

percorso da corrente, ed il martelletto H attratto: la corrente primaria quindi si interrompe in V. Tosto che la corrente primaria cessa, la molla riporta il martelletto H a contatto con V, e di conseguenza la corrente primaria si ristabilisce. Il fenomeno si ripete indefinitamente, per tutto il tempo che la chiave K è chiusa. La frequenza delle interruzioni dipende dalla massa del martelletto H e dall'elasticità e lunghezza della molla; nè più nè meno di quanto avviene in un comune campanello elettrico. Il rocchetto è in fondo un trasformatore a circuito magnetico aperto, nel quale le variazioni della corrente primaria sono prodotte dall'interruttore automatico, che è azionato dal magnetismo del nucleo. La sorgente d'energia è generalmente una batteria di accumulatori da 8 a 20 volt. Per effetto delle rapide variazioni d'intensità, che si hanno nella corrente primaria, avvengono delle rapide variazioni del flusso magnetico, e nel secondario, costituito da gran numero di spire, si produce una tensione elevata.

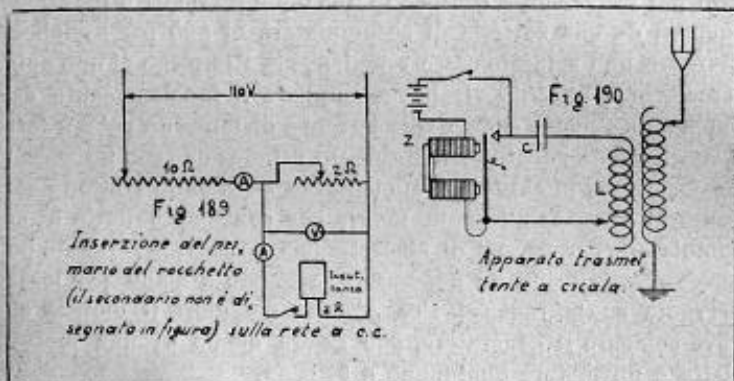
Riferendoci ancora alla Fig. 180, supponiamo di sostituire al trasformatore a corrente alternata un rocchetto d'induzione. Se i terminali del secondario del rocchetto sono collegati al condensatore ed al circuito di scarica, per tutto il tempo in cui il tasto è abbassato, si avrà una serie ininterrotta di scintille attraverso lo spinterometro.

158. **Inserzione dei rocchetti di induzione sulle reti a corrente continua ed alternata.** — Negli impianti trasmettenti navali si usano come apparecchi di riserva rocchetti d'induzione, capaci di trasmettere una potenza relativamente elevata. Per alimentare i primari, si impiegano batterie di accumulatori, così da rendere indipendenti questi apparecchi di riserva dai generatori di bordo. Negli impianti terrestri tuttavia, quando non si hanno a disposizione batterie di accumulatori, è possibile alimentare un rocchetto d'induzione con una linea a c. c. a 110 volt, sulla quale si inserisca un reostato in serie. È assolutamente necessario shuntare in tal caso il tasto trasmettente con un condensatore analogo a quello usato pel vibratore, per evitare che all'inizio della trasmissione si formi al tasto un forte

arco, e che la corrente non si interrompa, quando il tasto è alzato. Naturalmente il metodo di inserire un reostato è molto dannoso, poichè la perdita RI^2 nel reostato è grande, molto maggiore effettivamente della potenza assorbita dall'apparato radiotelegrafico.

Un sistema, atto ad evitare che fra i contatti del tasto si abbia una tensione dell'ordine di 110 volt, consiste nell'usare un divisore di tensione, composto di due reostati in serie, come in Fig. 189. Supponiamo che la resistenza del primario sia di 2 ohm, e che la tensione da applicare ad esso sia di 10 volt. Se uno dei due reostati si regola per una resistenza di 10 ohm, e

Fig. 189 Inserzione del primario del rocchetto (il secondario non è disegnato in figura) sulla rete a c.c.

Fig. 190 Apparato trasmettente a cicala.

l'altro per una resistenza di 2 ohm, e si derivano su quest'ultimo il primario del rocchetto d'induzione ed il tasto, la tensione ai capi del primario a tasto abbassato sarà di 10 volt. Si noti che la tensione attraverso il tasto, quando esso è aperto, è di 18,3 volt.

Si hanno vari metodi per alimentare un rocchetto di induzione con corrente alternata a 110 V. Uno di essi consiste nell'usare un piccolo trasformatore in discesa, per ridurre la tensione ad un valore equivalente a quello, che sarebbe fornito da una batteria conveniente. Questo sistema non richiede alcuna resistenza o reattanza in serie, ed è da preferire. Spesso i roc-

chetti d'induzione si inseriscono sulle linee di corrente alternata a 110 volt pel tramite di una reattanza in serie. Se la frequenza della corrente di alimentazione è di 500 periodi, il vibratore diviene un organo superfluo, ed è preferibile fissarlo nella posizione di chiusura. Il complesso allora riproduce esattamente lo schema indicato in Fig. 180. Se l'avvolgimento primario del rocchetto è tale da reggere a una tensione di 110 V, non occorre inserire nè un trasformatore nè una reattanza o resistenza in serie.

159. **Apparati trasmettenti portatili.** — Per i complessi portatili, da cui si richiedono trasmissioni a brevi distanze, l'apparato più conveniente consiste in uno o più rocchetti d'induzione, azionati da una batteria di accumulatori. Si può per semplicità preferire uno spinterometro semplice, ma l'impiego di uno spinterometro a scintilla strappata migliora il funzionamento dell'apparato. Quando si deve trasmettere a distanze un po' più forti, è consigliabile sostituire il rocchetto d'induzione con un piccolo trasformatore in salita, ed alimentarne il primario con una sorgente di corrente alternata invece che con una batteria di accumulatori. Per gruppi di modestissima portata, la sorgente può essere costituita da un generatore, azionato a mano per mezzo di ruote ed ingranaggi. Per potenze maggiori, il motore che deve azionare il generatore, può essere quello di una motocicletta o un motore qualunque a benzina.

Per trasmissioni a brevi distanze, la carica del condensatore e la produzione delle oscillazioni possono realizzarsi senza ricorrere ad un rocchetto d'induzione, usando semplicemente un vibratore, alimentato da una batteria di accumulatori o di poche pile a secco (Fig. 190). Il vibratore è rappresentato in *Z*. Quanto più elevata è la tensione ad esso applicata, tanto maggiore è la carica data al condensatore *C*. Quando la lamina del vibratore, indicato in figura, è a destra, chiude il circuito oscillante primario, e il condensatore si scarica attraverso l'induttanza *L*. La capacità del condensatore da usare è relativamente piccola, e l'apparato non può dare che brevi lunghezze d'onda.

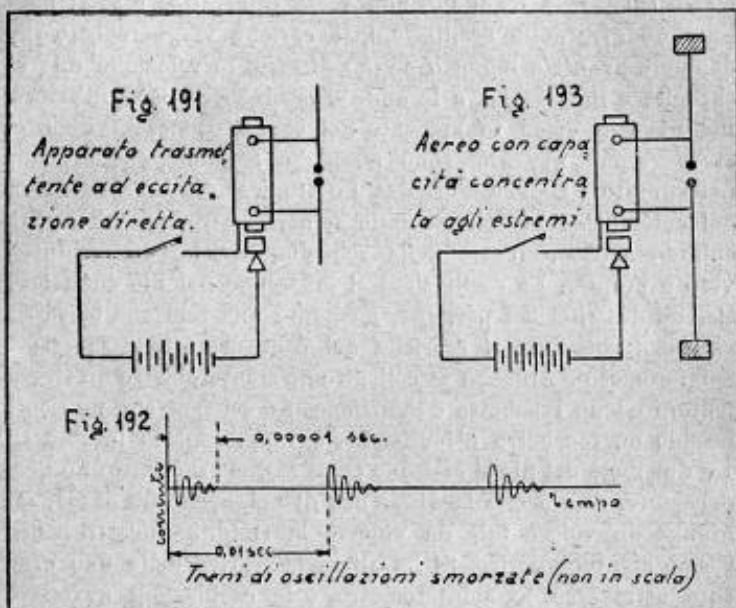
160. **Circuiti schematici degli apparati trasmettenti.** — Fino

a questo momento abbiamo trattato del modo di produrre una scarica oscillante nel circuito di un condensatore: conviene ora descrivere i dispositivi, coi quali le oscillazioni si riportano sulle antenne, dove danno luogo all'irradiazione di onde radiotelegrafiche. In questo paragrafo e nei seguenti sono indicati gli schemi dei circuiti trasmettenti, partendo dai più semplici, e giungendo man mano ai più complessi.

Il più semplice trasmettitore d'onde, che si possa realizzare, è un filo rettilineo, interrotto nel mezzo da un piccolo spinterometro (Fig. 191). Se il filo non fosse interrotto, e vi si potessero produrre delle oscillazioni, le cariche viaggerebbero rapidamente avanti e indietro lungo di esso, in relazione alla sua capacità e induttanza, e le onde si propagherebbero all'esterno, nello spazio, come fu spiegato nel cap. 4. Le oscillazioni, che si innescano nel filo, sono analoghe a quelle, che si hanno nel circuito *CL* della Fig. 180. Lo studioso deve fare astrazione dall'interruzione, costituita dallo spinterometro, perchè lo spazio spinterometrico, all'atto della scintilla, diviene un conduttore vero e proprio. Le oscillazioni si innescano nel filo cogli stessi sistemi descritti nel par. 154, mediante una tensione elevata di carica, e conseguenti scariche del condensatore attraverso lo spinterometro. All'uopo si collega allo spinterometro un trasformatore od un rocchetto d'induzione. Lo schema, che ne risulta, usando un rocchetto d'induzione, è rappresentato in Fig. 191. Le due metà del filo si caricano come le due armature di un condensatore, fino a che la differenza di potenziale fra di esse raggiunge un valore tale da vincere la rigidità dielettrica dello spazio spinterometrico. Si ha allora la scarica delle due armature attraverso lo spinterometro, e le oscillazioni avvengono liberamente, fino a che l'energia messa in giuoco dalla scarica si è consumata. In questo istante lo spinterometro riprende le sue proprietà isolanti, come fu già spiegato, e permette una nuova carica. Il fenomeno si ripete tante volte al secondo, quante sono le chiusure del circuito di alimentazione, determinate dal vibratore.

L'intervallo di tempo fra due successive interruzioni del vi-

bratore è dell'ordine di circa 0,01 di secondo, mentre la scarica si compie in meno di 0,00001 di secondo (questi dati si riferiscono ad onde di 150 m. e a treni di 20 onde ciascuno). Vi è in tal guisa un intervallo di tempo relativamente grande fra i successivi treni d'onde, durante il quale lo spinterometro può raffreddarsi e lo spazio spinterometrico disionizzarsi. Nella Fig. 192 è rappresentato il diagramma della corrente di scarica, ma la distanza fra i successivi treni d'onde, che si ha in detta figura, è inferiore a quella, che effettivamente si avrebbe con un oscil-

latore smorzato, del tipo di quello indicato in Fig. 191. Per dare un'idea dei valori relativi, potremo dire che la lunghezza di ciascun treno d'onde sta a quella dell'intervallo di silenzio fra due treni d'onde successivi come la durata di un giorno sta a quella di 3 anni.

Per arrivare a rappresentarci un ordinario complesso radio-

telegrafico trasmettente, dobbiamo compiere ancora un passo: aggiungiamo agli estremi delle due metà del filo due grandi piastre metalliche (Fig. 193). Con questo aumenteremo la capacità dell'oscillatore, e permetteremo che, a pari tensione applicata, si accumulino in esso cariche maggiori; le oscillazioni sui fili saranno più intense, e le linee di forza elettriche e magnetiche irradiate più numerose. Saranno così accresciute l'intensità e la portata dei segnali.

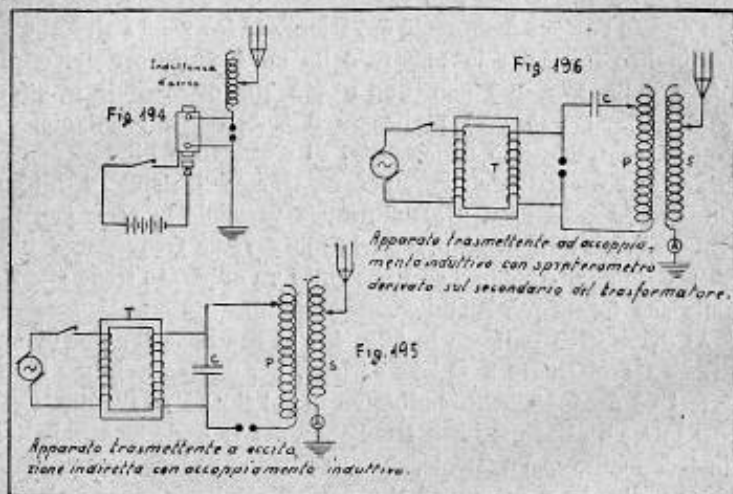
Nel par. 132 si è dimostrato che la metà inferiore di un oscillatore (Fig. 191 e 193) può essere sostituita dal suolo, senza che con questo l'azione della metà superiore di esso venga alterata. Si usa inoltre sostituire la piastra della metà superiore dell'oscillatore della Fig. 193 con uno o più fili orizzontali o quasi (Fig. 194). Si può così realizzare una capacità relativamente grande, semplificando i dispositivi di sostegno, e diminuendo le difficoltà costruttive dell'oscillatore. Questo insieme di fili costituisce l' « antenna ». Un'induttanza variabile in serie coll'antenna permetterà di sintonizzarla alle diverse frequenze o lunghezze d'onda. Abbiamo così costruito un apparato trasmettente nella sua forma più semplice.

Al dispositivo indicato in Fig. 194 si usa dare il nome di apparato trasmettente a « plain aerial », per distinguerlo dagli apparati ad accoppiamento induttivo, di cui si dirà in seguito. Esso costituisce un buon sistema irradiante, ma le onde emesse hanno un decremento così notevole, che disturbano una larga zona di lunghezze d'onda, e gli apparati riceventi risultano poco selettivi. (par. 116). Perciò questo sistema non è in generale usato. Tuttavia oltre alla sua semplicità, presenta i seguenti vantaggi: è assai efficace nei casi, in cui l'operatore trasmettente vuole essere sentito dal maggior numero possibile di stazioni, come è per esempio il caso di una nave, che chieda aiuto; e in secondo luogo si presta bene a disturbare altre trasmissioni, scopo che per fini militari spesso ci si prefigge, per impedire al nemico di ricevere trasmissioni in corso. I circuiti si realizzano in maniera assai facile, inserendo lo spinterometro direttamente fra l'antenna ed il filo di terra, e connettendo i due conduttori della sorgente di alimentazione

ai capi dello spinterometro stesso. L'intervallo spinterometrico va regolato in modo da non risultare troppo corto, nel qual caso si formerebbe l'arco, e neppure va troppo accresciuto, per non compromettere l'isolamento dell'aereo.

161. Apparato trasmettente ad accoppiamento induttivo. — Invece di sistemare lo spinterometro direttamente in serie con l'aereo, lo si può porre in un circuito oscillante a parte accoppiato all'aereo (Fig. 180). D'ordinario è l'induttanza del circuito oscillante (detto circuito « chiuso », per distinguerlo dal circuito

Apparato trasmettente ad accoppiamento induttivo con spinterometro derivato sul secondario del trasformatore.

Apparato trasmettente a eccitazione indiretta con accoppiamento induttivo.

aperto o di aereo), che si accoppia all'induttanza in serie coll'aereo. I circuiti risultano in tal guisa quelli rappresentati dalla Fig. 195. Uno dei vantaggi, offerti da questo metodo, è che il condensatore del circuito chiuso può avere una capacatà assai maggiore di quella dell'antenna, e può così accumulare un'energia più notevole ad ogni alternativa della tensione di alimentazione; e poichè questa energia è trasmessa all'antenna, questa diviene un radiatore più efficace. Altri dettagli relativi a tale sistema saranno esposti in seguito nel par. 163.

Come negli apparati a plain-aerial, si può usare o un rocchetto

d'induzione, od un trasformatore di tensione in salita. Nella Fig. 195 è rappresentata appunto questa soluzione. *T* è un trasformatore a nucleo di ferro, di costruzione molto simile a quella degli ordinari trasformatori, impiegati nelle reti di illuminazione elettrica. I due avvolgimenti d'induttanza *P* ed *S* costituiscono il «jigger» o «trasformatore di oscillazioni». In serie coll'aereo si ha un amperometro a filo caldo. Le posizioni dello spinterometro e del condensatore sono qualche volta invertite; e lo spinterometro (Fig. 196) è derivato sul secondario del trasformatore. Tale inversione non porta ad alcuna pratica differenza di funzionamento.

Il condensatore non può scaricarsi sul secondario del trasformatore elevatore di tensione *T* per la notevole impedenza da esso offerta, ma la scarica ha luogo nell'avvolgimento primario *P* del jigger di poche spire, nel quale produce una rapida variazione di flusso magnetico. Il secondario del jigger *S* è prossimo al primario *P*, cosicchè parte del flusso magnetico alternativo di *P* attraversa *S*. Si hanno tre tipi principali di jigger: a spirale elicoidale fissa, e a rotazione, ed a spirale piatta (Fig. 197, 198, 199). Allo scopo di realizzare una resistenza moderata, il conduttore è generalmente costituito da nastro di rame a larga superficie o da tubo di rame. Il grado di accoppiamento o la mutua induzione fra gli avvolgimenti si varia, spostando l'uno di essi rispetto all'altro; per realizzare nel primario o nel secondario autoinduzioni variabili ci si serve di staffe o di attacchi mobili.

L'amperometro a filo caldo serve a misurare la corrente nel circuito di antenna. Per sintonizzare l'antenna, si può usare, invece dell'amperometro a filo caldo, una lampada a bassa resistenza, per es. una piccola lampadina da fanale tascabile; si ha sull'antenna la corrente più intensa, quando il lampadino presenta la massima luminosità. Se la corrente è troppo intensa per la lampadina usata, si può shuntare quest'ultima con una piccola resistenza. L'amperometro o la lampadina si possono cortocircuitare, quando non abbisognano, allo scopo di tenere bassa la resistenza del circuito d'antenna.

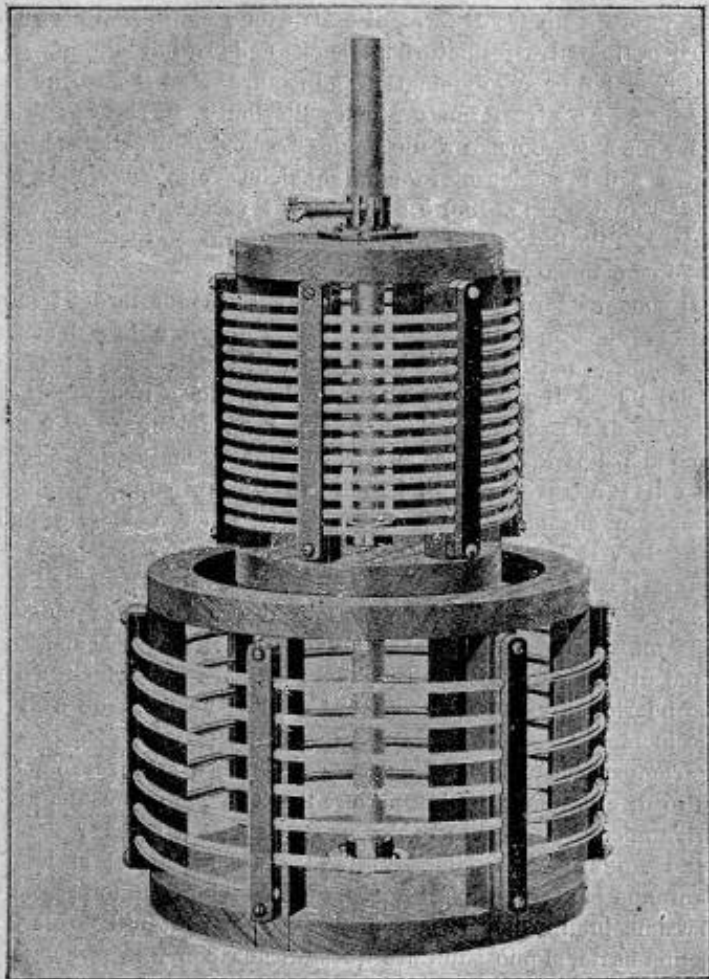



Fig. 197 — Jigger a spirali elicoidali, con spostamento assiale del secondario rispetto al primario.

162. Apparato trasmettente ad accoppiamento diretto. — Il circuito chiuso può essere accoppiato al circuito di antenna direttamente, anzichè con accoppiamento induttivo. (Fig. 200). Dell'accoppiamento diretto fu detto nel par. 119. Per realizzarlo basta un'unica induttanza, di cui si può inserire in ciascuno dei due circuiti un numero variabile di spire per mezzo di contatti mobili. Per ottenere la sintonia a determinate lunghezze d'onda,

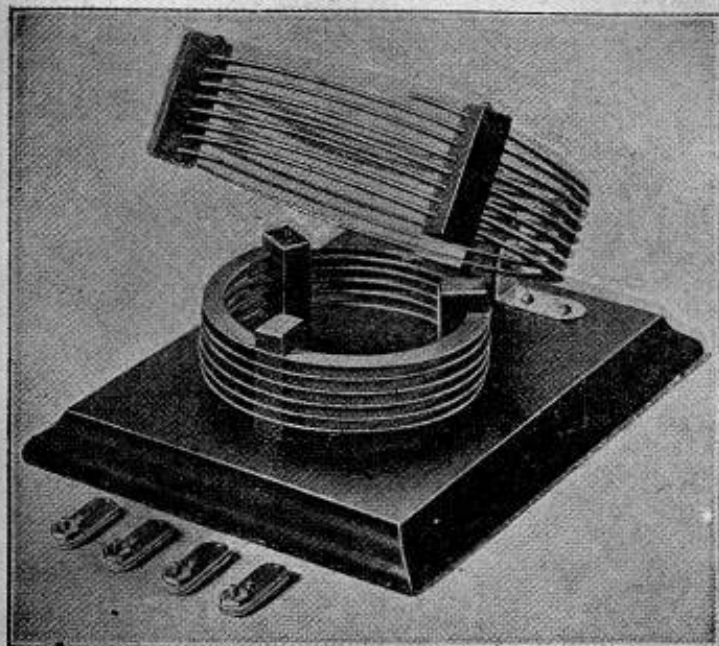
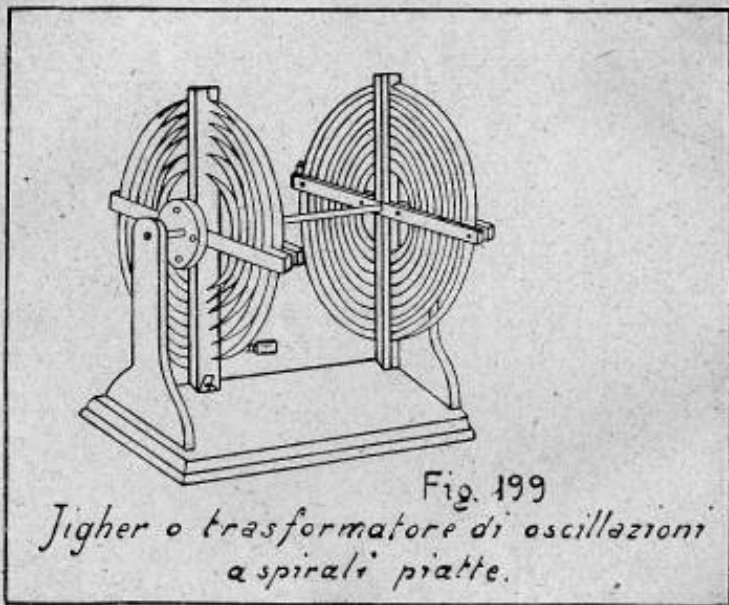



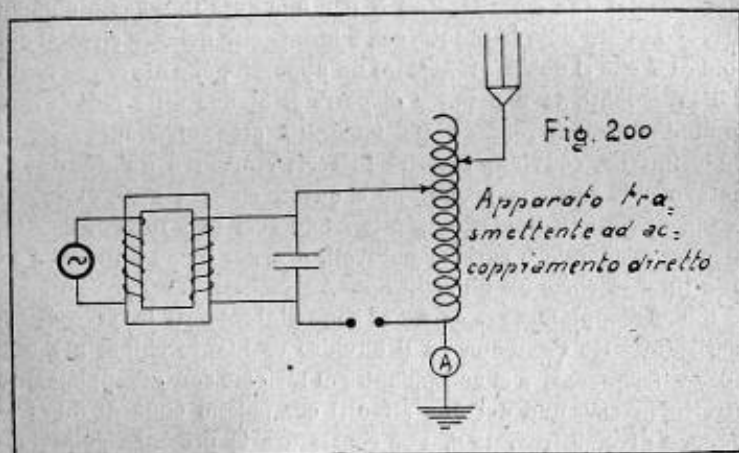
Fig. 198. — Jigger a rotazione

occorre talvolta inserire nel circuito oscillante chiuso un'induttanza. L'accoppiamento si può rendere lasco a piacere, facendo in modo che l'induttanza comune a entrambi i circuiti sia una piccola frazione dell'induttanza totale. Poichè l'accoppiamento diretto e quello induttivo sono strettamente equivalenti, la trattazione già fatta per uno di essi vale per entrambi.

163. Paragone fra gli apparati a plain aerial e quelli ad accoppiamento. — Nel sistema a plain aerial (Fig. 194), lo spinterometro a scintilla è in serie coll'antenna. In tal modo la resistenza dello spazio spinterometrico è inclusa nel circuito d'antenna, ed aumenta il decremento delle onde irradiate. Mentre un decremento elevato può in casi speciali riuscire vantaggioso, come si disse nel par. 160, nella maggior parte dei casi è da evitarsi. Quando lo spinterometro è in un circuito a parte, ac-

Fig. 199
Jigher o trasformatore di oscillazioni a spirali piatte.

coppiato all'aereo o induttivamente o direttamente, come in Fig. 195 o 200, la sua resistenza non si somma a quella dell'antenna. Di conseguenza il decremento delle onde irradiate è moderato. Il condensatore del circuito oscillante chiuso può avere una capacità elevata; per tal fatto esso accumula una grande quantità di energia, e, se si usa uno spinterometro ad elettrodi fissi, la scarica del condensatore dura per un tempo

relativamente lungo, prima di spegnersi. In corrispondenza alle correnti oscillanti nel circuito chiuso, si hanno sull'antenna oscillazioni di decremento moderato.

Uno spinterometro a scintilla strappata, inserito nel circuito di antenna, peggiorerebbe molto il decremento. Se invece è inserito nel circuito chiuso, dà alle oscillazioni di questo un decremento così elevato, che esse si spengono quasi immediatamente, ed eccitano semplicemente per impulso l'antenna, la quale oscilla in seguito col suo decremento naturale, che può essere piccolo.

Tenuto conto che le oscillazioni d'antenna sono debolmente smorzate, a parità di potenza in giuoco sull'antenna, si hanno valori istantanei della tensione meno elevati, di quando le oscillazioni d'antenna sono a forte decremento. Di conseguenza gli isolatori dell'antenna sono meno cimentati.

164. Sintonizzazione e risonanza. — Si realizza nel circuito di antenna un massimo di corrente molto pronunciato, quando il periodo naturale di oscillazione dell'antenna è identico a quello del circuito oscillante chiuso, ossia quando $L_s C_s = L_p C_p$. (cap. 3, par. 116). L_s è l'induttanza totale del circuito d'antenna, compresa

quella dell'aereo, della coda di entrata e del secondario del jigger. C_s è la capacità dello stesso circuito, L_p è l'induttanza del circuito primario, che, data la brevità delle connessioni, è quasi tutta concentrata nell'avvolgimento L. Analogamente la capacità C_p è praticamente tutta concentrata nel condensatore C.

Per realizzare la condizione di sintonia, non è in pratica necessario misurare singolarmente questi vari elementi. L'amperometro a filo caldo indica, in corrispondenza del massimo di corrente di aereo, che si realizza per tentativi, l'eguaglianza dei due prodotti, oppure l'operatore può con un cimometro regolare ciascuno dei due circuiti P ed S per una data lunghezza d'onda. Devono essere note le induttanze e le capacità dei due circuiti nel solo caso che si debba progettare un apparato, che differisca tanto dai precedenti, da non poter disporre di alcuna utile indicazione preliminare. Per rendere un apparato atto all'irradiazione di onde lunghe, conviene inserire in serie coll'aereo un'induttanza notevole. È tuttavia preferibile a questo sistema l'uso di un'antenna di grandi dimensioni, ottenendo così una forte capacità, atta ad accumulare cariche notevoli, e a dar luogo sull'aereo ad una intensa corrente d'irradiazione.

165. **Accoppiamento.** -- Se si sono sintonizzati in precedenza separatamente l'antenna ed il circuito oscillante chiuso per una stessa frequenza, e si accoppiano poi insieme con accoppiamento stretto, in ciascuno dei due circuiti compaiono onde di due frequenze diverse (par. 120). Per constatare la presenza della doppia onda negli apparati radiotelegrafici, si può usare un cimometro: postolo in vicinanza dei due circuiti accoppiati, esso darà una indicazione di massimo in corrispondenza a due lunghezze d'onda diverse. Se l'accoppiamento si allasca, le due lunghezze d'onda si avvicinano man mano alla lunghezza d'onda, per la quale i due circuiti erano stati in precedenza sintonizzati, e, con un accoppiamento molto lasco, si rileverà una lunghezza d'onda unica. Le figure da 201 a 204 rappresentano le curve di risonanza relative ad una regolazione separata del primario e del secondario per una lunghezza d'onda di 600 metri, e ad un accoppiamento induttivo di essi progressivamente più lasco. Un

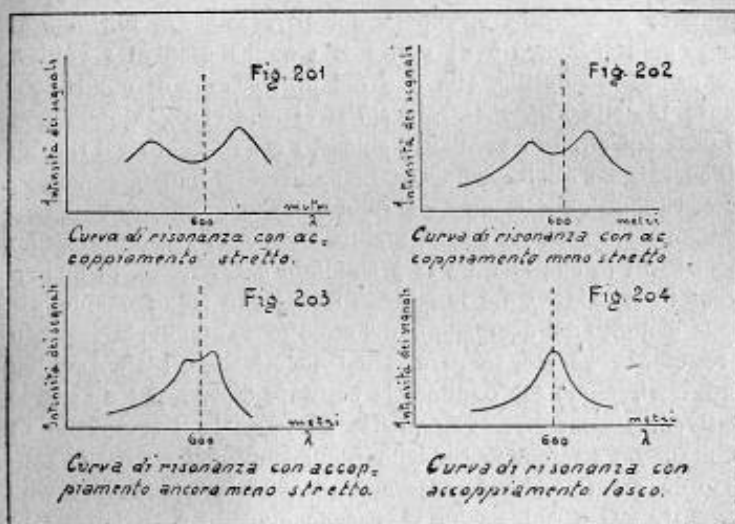
accoppiamento diretto si stringe, aumentando l'induttanza comune ai due circuiti. Questi effetti sono più pronunciati, quando si usa uno spinterometro ad elettrodi fissi o uno spinterometro rotante, invece di uno spinterometro a scintilla strappata.

La curva di risonanza, rappresentata in Fig. 201, consentirebbe una sintonizzazione acuta per una delle due lunghezze d'onda; ma in tal modo gli apparati riceventi utilizzerebbero l'energia di una sola delle due onde. Le curve in Fig. 202 e 203 si riferiscono ad una condizione assai simile a quella, che si

Curva di risonanza con accoppiamento stretto.

Curva di risonanza con accoppiamento meno stretto

Curva di risonanza con accoppiamento ancora meno stretto.

Curva di risonanza con accoppiamento lasco.

realizzerebbe in un circuito, che oscillasse con un'unica frequenza, ma con decremento elevato; per modo che l'intensità dei segnali si mantiene presso a poco la stessa su di un'ampia zona di lunghezze d'onda. Nella Figura 204 i segnali sono nettamente più intensi in corrispondenza di una sola lunghezza d'onda, e si indeboliscono rapidamente appena la regolazione degli apparati è leggermente variata. In questo caso si dice che l'onda irradiata dall'antenna è un'onda « pura ». È vantaggioso avere una

curva di risonanza quanto più acuta è possibile; e quindi, con uno spinterometro semplice, si userà di regola un accoppiamento lasco. Il vantaggio, che si consegue, sta nel fatto che tutta la potenza irradiata si concentra in una stretta zona di lunghezze d'onda, e le stazioni riceventi possono sintonizzarsi per l'onda desiderata ed escludere le altre.

Effetto dello spinterometro a scintilla strappata in relazione all'accoppiamento. — Riferiamoci nuovamente all'apparato ad accoppiamento induttivo della Fig. 195 ed alle curve della Fig. 154 nel cap. 3, e teniamo anche presente la descrizione dello spinterometro a scintilla strappata del par. 156. La funzione di questo spinterometro è di aprire il circuito oscillante chiuso, strappando la scintilla, alla fine del primo treno di oscillazioni (punto D della Fig. 154). Con ciò si ottiene che l'antenna non reagisca sul circuito oscillante chiuso, e si evita quindi il ritorno dell'energia da quella a questo. Le oscillazioni dell'antenna non interferiscono quindi con quelle del circuito oscillante chiuso, e l'antenna continua ad oscillare colla frequenza sua propria, fino a che tutta la sua energia si è irradiata sotto forma di onde o di calore (Fig. 155). La lunghezza di ciascun treno d'onde dipende soltanto dal decremento del circuito d'antenna. Riducendo la resistenza d'aereo, le perdite nel dielettrico, e gli effluvi dai conduttori, si può far oscillare la corrente d'aereo per un tempo relativamente lungo, alla frequenza per la quale il complesso fu regolato. Lo strappamento delle oscillazioni nel primario, prodotto da questo tipo di spinterometro, evita la doppia onda delle Fig. 201, 202 e 203, anche se l'accoppiamento è stretto, ed in pratica, per avere un buon funzionamento dello spinterometro a scintilla strappata, conviene usare un accoppiamento stretto. La regolazione dell'accoppiamento deve essere fatta con cura, ma, se eseguita con precisione, dà luogo nello spinterometro ad una nota chiara e acuta. Il cimometro rivelerà subito un'onda unica (par. 168), e la nota pura, che si avverte nel ricevitore telefonico, ci avvertirà della esatta regolazione dell'apparato. Lo spinterometro a scintilla strappata è assai efficiente, perchè grazie all'accoppiamento stretto, si hanno sull'antenna correnti intense.

È bene notare che i principi di funzionamento dello spinterometro a scintilla strappata e dello spinterometro semplice, o ad elettrodi fissi, sono esattamante opposti. Il primo tende ad arrestare prontamente le oscillazioni del primario, dopo che nel secondario si sono innescate le oscillazioni. Il secondo tende a mantenere il primario in oscillazione il maggior tempo possibile, continuando a somministrare al secondario l'energia, man mano che è irradiata; l'accoppiamento è lasco ed il decremento del primario è basso. Lo strappamento delle oscillazioni in un circuito con spinterometro a scintilla strappata è favorito dall'adottare un rapporto notevole fra capacità e induttanza. Con ciò si realizza anche il vantaggio che le tensioni ai capi del condensatore e dell'induttanza si mantengono moderate.

166. **Smorzamento e decremento.** — Se l'energia del circuito d'antenna si dissipa troppo rapidamente, per effetto dell'irradiazione delle onde o delle perdite di calore, le oscillazioni si spengono assai presto, e le onde, contenute in ciascun treno, non sono sufficienti ad innescare in un'antenna ricevente delle oscillazioni di un periodo ben definito. Tali onde sono fortemente smorzate ed hanno un notevole decremento: esse danno luogo a correnti di ricezione di intensità quasi costante per una estesa zona di lunghezze d'onda. Non è quindi possibile la sintonizzazione selettiva. Per aumentare il numero delle onde irradiate in ciascun treno d'onde dall'antenna (per dare cioè alle oscillazioni una maggior durata), l'antenna deve avere una resistenza modesta. Con uno spinterometro semplice l'accoppiamento fra il circuito oscillante chiuso e l'aereo non deve essere troppo stretto, per non sottrarre troppo rapidamente energia al circuito oscillante chiuso. Ad ogni scarica del condensatore si ha nel circuito primario un treno di oscillazioni, che si spengono assai prima che si inizi un'altro treno (Fig. 192); queste oscillazioni cessano quindi più presto, se l'antenna assorbe rapidamente l'energia del circuito oscillante chiuso. L'accoppiamento stretto è ammissibile solo quando si usa uno spinterometro a scintilla strappata (in base alle considerazioni svolte alla fine del paragrafo pre-

cedente). Con ogni altro tipo di spinterometro l'antenna assorbe dal circuito oscillante chiuso energia in maniera continua.

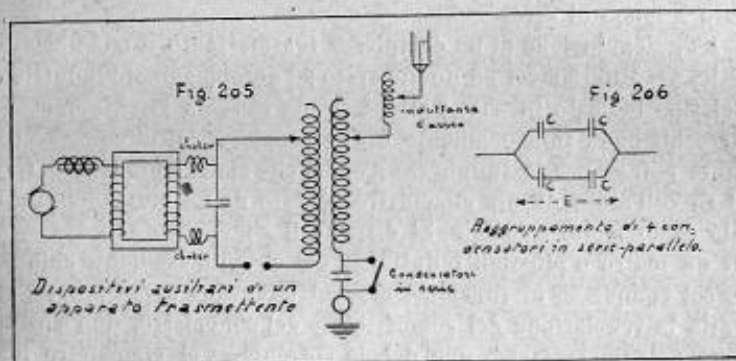
La resistenza del circuito d'antenna dipende da molti fattori e conviene che essa sia la minima possibile. A tal uopo, l'aereo deve avere una resistenza di terra piccola; essere costituito di fili a debole resistenza; ed essere lontano da corpi buoni conduttori. Deve anche essere assai piccola la resistenza del circuito oscillante chiuso, nel quale circolano correnti più intense di quelle, che si hanno sui fili dell'aereo. Per questa ragione i conduttori del circuito chiuso devono essere corti e di grande sezione, preferibilmente fili trecciati o conduttori tubolari di rame. Il condensatore deve essere di ottima qualità, ed esente da perdite.

167. — **Altri particolari degli apparati trasmettenti a scintilla.** — Per il buon funzionamento di un apparato generatore di onde smorzate è utile tener presente anche le seguenti considerazioni. Si ottengono notevoli vantaggi, disponendo una reattanza variabile (induttanza a nucleo di ferro) in serie coll'alternatore, per sintonizzare il circuito di alimentazione alla frequenza dell'alternatore stesso.

Variazione della lunghezza d'onda. — In molti complessi si hanno d'ordinario dei dispositivi, che permettono di passare rapidamente dalla trasmissione con una lunghezza d'onda alla trasmissione con una lunghezza d'onda diversa, per esempio da 300 a 600 metri. Un'antenna, che non abbia in serie un'induttanza, ha una lunghezza d'onda naturale, che dipende esclusivamente dall'induttanza e capacità sue proprie (par. 116 e 145). L'aereo si progetta ordinariamente in modo, che la sua lunghezza d'onda naturale sia più corta di quella, che si deve impiegare normalmente; e si aumenta questa lunghezza d'onda naturale aggiungendo in serie coll'antenna un'induttanza o più semplicemente aumentando l'induttanza del secondario del jigger. Nel caso di un aereo di piccole dimensioni, quale si può avere sul naviglio sottile, è necessario ricorrere ad un'induttanza notevole. Poichè è utile avere un'accoppiamento lasco, una parte dell'induttanza del secondario può essere costituita da un avvolgimento a parte detto « induttanza aggiunta », che si accoppia al primario. La

figura 205 rappresenta questo dispositivo. Per variare prontamente la lunghezza d'onda, si ricorre spesso ad un commutatore unico che, per mezzo di leve comandate, varia simultaneamente la regolazione di tutti e tre gli avvolgimenti, primario e secondario del jigger, e induttanza aggiunta, per modo che le induttanze dei tre avvolgimenti assumano prossimamente i valori opportuni in relazione alla particolare lunghezza d'onda richiesta.

Per affinare di poi la regolazione, si possono anche variare, quando esistono, altre induttanze addizionali, in serie col primario e col secondario.

La Figura 205 rappresenta un dispositivo, per mezzo del quale

l'operatore può ottenere delle lunghezze d'onda più corte di quella naturale dell'aereo, inserendo in serie coll'antenna un condensatore (par. 35): in questo caso l'induttanza addizionale va naturalmente esclusa. Il condensatore deve essere atto a sopportare tensioni dell'ordine di quelle, che si verificano fra le armature del condensatore principale di trasmissione. Con un condensatore di piccola capacità la lunghezza d'onda può essere ridotta fino ad approssimarsi alla metà di quella naturale dell'aereo; però con un condensatore di capacità troppo piccola l'irradiazione risulta insufficiente. Per produrre una lunghezza d'onda, che sia esattamente la metà di quella naturale, sarebbe neces-

saria una capacità nulla (un circuito aperto, che isoli completamente l'aereo dalla terra).

Induttanze d'arresto (chokers). — In Fig. 205 sono indicate le induttanze d'arresto (chokers), le quali hanno lo scopo di impedire che le correnti oscillanti ad alta frequenza, prodotte dalla scarica del condensatore, si rovescino sul secondario del trasformatore e ne forino l'isolante. Le induttanze d'arresto costituiscono un ostacolo al passaggio delle correnti di frequenza radiotelegrafica, ma non impediscono il passaggio della corrente di carica a bassa frequenza. La capacità fra spira e spira dell'induttanza d'arresto deve essere la minima possibile, per evitare che le correnti oscillanti ad alta frequenza seguano questa via; spesso si può fare a meno di esse.

168. **Regolazione di un complesso trasmettente a onde smorzate.** — Riferiamoci ad un apparato ad accoppiamento induttivo del tipo indicato in Fig. 205. La prima cosa da farsi, per ottenere un buon funzionamento, è di sintonizzare il circuito oscillante chiuso per la lunghezza d'onda, che si deve impiegare. Ciò si fa coll'aiuto di un cimometro, dotato di un amperometro a filo caldo molto sensibile. Si dispone il cimometro alla distanza di un metro o più dall'induttanza del circuito oscillante chiuso, e, col complesso in funzione, ma col circuito d'aereo aperto, si varia la regolazione del condensatore del cimometro, fino a rilevare nell'amperometro una debole corrente. Col cimometro regolato alla lunghezza d'onda, che si è scelta, si varia quindi l'induttanza del circuito oscillante chiuso, fino ad ottenere la risonanza. Se non si riesce a realizzare la condizione di risonanza, è probabile che l'induttanza o la capacità del circuito oscillante chiuso siano troppo grandi o troppo piccole. In tal caso si dovrà cambiare l'una o l'altra di esse, generalmente l'induttanza, e si troverà la condizione di risonanza dopo pochi tentativi.

Conviene di poi regolare l'accoppiamento, allo scopo di ottenere un'onda pura, di concentrare cioè la maggior quantità possibile di energia irradiata nell'onda, che si deve impiegare. A tal uopo si varia l'accoppiamento, tenendo chiuso sia il circuito

d'antenna che quello oscillante primario. Se lo spinterometro non è del tipo a scintilla strappata, si tiene dapprima l'accoppiamento piuttosto lasco, e si varia di poi l'induttanza addizionale, fino ad ottenere la risonanza: condizione, che è rivelata dall'amperometro a filo caldo in serie coll'aereo. Si stringe allora l'accoppiamento, fino a veder comparire la doppia onda. Poichè conviene avere un'onda pura, cioè una sola condizione di risonanza, si allasca nuovamente di quanto occorre per realizzare un accoppiamento, al quale la doppia onda scompaia. Se il complesso ha uno spinterometro a scintilla strappata, l'accoppiamento si mantiene stretto, allascandolo solo di quanto è necessario per ottenere un'onda unica ben definita.

È poi necessario regolare l'apparato in modo da avere sull'antenna la massima corrente. Senza più toccare le regolazioni della lunghezza d'onda e dell'accoppiamento, si varia la tensione di alimentazione, la lunghezza dello spazio spinterometrico, e l'induttanza in serie coll'alternatore, fino ad ottenere scintille di nota pura, e la corrente massima nel circuito di antenna. Ciò fatto, è opportuno ripetere la regolazione dell'accoppiamento e nuovamente verificare la nota e la corrente d'antenna. Con apparati dotati di spinterometro a scintilla strappata, il funzionamento ottimo si realizza con un induttanza in serie coll'alternatore, (controller), nel circuito di alimentazione (par. 167), un po' maggiore di quella definita dalla condizione di risonanza per la frequenza dell'alternatore.

169. Rendimento del complesso. — Per conseguire un buon rendimento, tutte le resistenze dei circuiti vanno ridotte al minimo. Nel par. 166 sono state date le indicazioni necessarie per realizzare valori di resistenza bassi. È anche necessario evitare gli effluvi agli orli dei condensatori e la formazione di archi; mantenere le connessioni ben tese, le armature dei condensatori e le altre parti dei circuiti libere da polvere e da umidità, e l'aereo ben isolato. Gli effluvi si possono ridurre, eliminando le punte nei conduttori; e le scariche degli orli, rivestendo le armature metalliche di paraffina. Gli stralli dell'antenna vanno

suddivisi di tratto in tratto mediante mocche isolanti, per ridurre in essi le correnti indotte.

Il rendimento può definirsi come il rapporto fra la potenza irradiata dall'aereo sotto forma di onde elettromagnetiche e la potenza assorbita dal trasformatore. La potenza P, assorbita dal trasformatore, si può misurare con un ordinario wattometro. La potenza irradiata dall'aereo può essere espressa dalla formula RI^2, dove I è la corrente nell'amperometro d'antenna, ed R è la resistenza di radiazione. Il rendimento è allora RI^2 diviso per P. Come fu spiegato nel par. 143, la resistenza di radiazione non si può misurare direttamente, ma può essere ricavata dalla resistenza efficace dell'aereo, sottraendo ad essa quelle resistenze, che danno luogo a perdite sotto forma di calore.

Il rendimento globale di un apparato r. t. trasmettente oscilla fra il 2 ed il 15 per cento. Il rendimento del trasformatore è dell'ordine fra l'85 ed il 95 per cento. Le perdite nel circuito oscillante chiuso sono molto forti in relazione alla potenza trasmessa, per cui il rendimento di questo circuito si aggira d'ordinario intorno al 25 per cento (con una regolazione molto fine e coll'uso di uno spinterometro a scintilla strappata si può raggiungere anche il 50 per cento). Il rendimento dell'antenna (potenza irradiata divisa per la potenza immessa nell'aereo) è tra il 2 e il 20 per cento; in casi speciali può raggiungere anche il 50 per cento. Il prodotto dei tre rendimenti parziali dà il rendimento globale.

170. Calcoli di progetto di un apparato trasmettente. — Questo paragrafo dà un cenno dei metodi usati, per calcolare i valori delle capacità e delle induttanze da impiegare negli apparati trasmettenti. La formula base per il progetto, di un apparato trasmettente è quella, che dà la lunghezza d'onda,

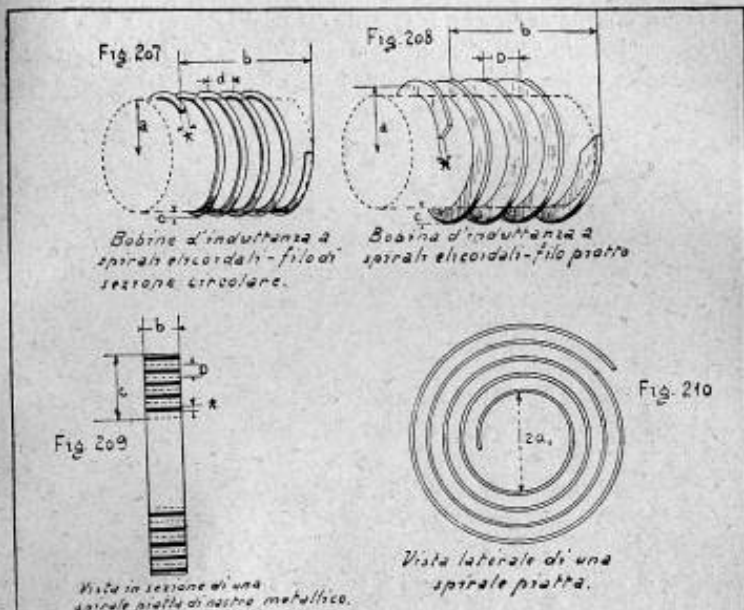
$$\lambda_m = 1884 \sqrt{CL}$$

dove C è in microfarad, L in microhenry, e λ in metri.

Condensatori di trasmissione. — La capacità del condensatore del circuito oscillante chiuso può essere determinata colla relazione:

$$C = \frac{2 \times 10^9 P}{N E_0^2} \tag{87}$$

dove C è la capacità in μF, P è la potenza in watt, N è il numero delle cariche del condensatore al secondo, ed E_a è il valore massimo della tensione in volt. Si può vedere da questa formula che, se si usa una tensione E_a moderata, a parità di potenza da mettere in giuoco, la capacità risulta notevole, e se invece la tensione di alimentazione è elevata, la capacità può essere minore. Con un leggero aumento di tensione, si ha una grande riduzione di capacità, perchè la tensione comparisce al quadrato; perciò, per evitare di dover ricorrere a grandi condensatori, è bene usare una tensione quanto più elevata è possibile, senza però raggiungere valori di tensioni, che diano luogo alla formazione di effluvi. Se la ten-

sione ad esempio si raddoppia, si può usare, a parità di potenza, un condensatore di capacità un quarto. Per una potenza di $\frac{1}{2}$ kw a 12.000 volt, e 1000 scariche al secondo,

$$C = \frac{2 \times 10^6 \times 500}{1000 \times 144 \times 10^6} = 0{,}007 \ \mu F$$

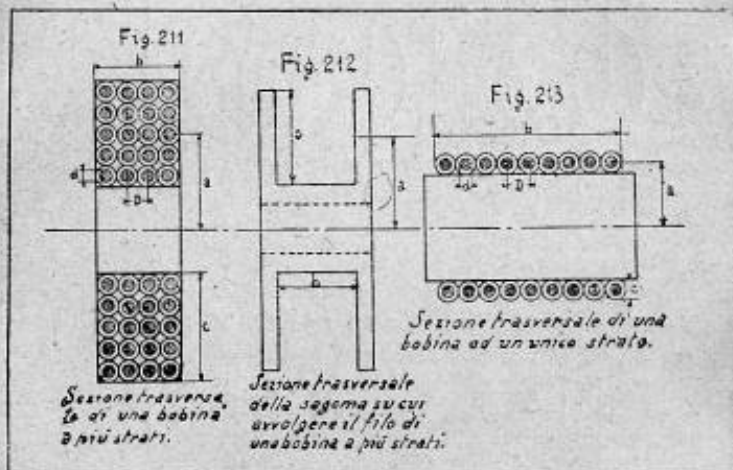
Conoscendo la capacità totale richiesta, il numero delle lastre di dielettrico, necessarie per formare il condensatore, si ottiene dalla formula:

$$C = 0{,}0885 \times \frac{1}{10^6} \times k \frac{n\,S}{r} \qquad (88)$$

dove k è la costante dielettrica, n è il numero delle lastre del dielettrico, S è l'area in cm² ed r è lo spessore in cm. Supponiamo che come dielettrico si vogliano usare lastre di vetro: determiniamone il numero. Se le lastre hanno una superficie di cm 15×20 e uno spessore di 0,25 cm, assumendo come costante dielettrica del vetro 7, si ha:

$$n=\frac{0{,}25\times 0{,}007\times 10^{6}}{0{,}0885\times 7\times 15\times 20}=9$$

Sono quindi necessarie 9 lastre di vetro.

Si deve notare che, più elevata è la frequenza N delle scariche, tanto minore può essere, a parità di potenza, la capacità del condensatore. Per tale ragione, e indipendentemente dagli altri vantaggi già indicati, conviene adottare una

frequenza di scarica elevata. Quando la tensione, alla quale si desidera far funzionare lo spinterometro, è più elevata di quella tollerabile dai condensatori, per modo che si avrebbero scariche nel dielettrico ed effluvi, si raggruppano un certo numero di condensatori di capacità unitaria C in serie parallelo, per es. quattro, come è indicato in Fig. 206; la capacità risultante resta sempre C, ma ciascun condensatore viene ad essere assoggettato ad una tensione pari alla metà di quella, che agisce fra gli elettrodi dello spinterometro.

Induttanze. — Le induttanze più importanti di un complesso radiotelegrafico sono: il primario ed il secondario del jigger, e l'induttanza aggiunta. Nella pratica radiotelegrafica, pochi operatori hanno un'idea sia pure approssimata dei valori di tali induttanze; le bobine sono di un tipo unico, e di dimensioni variabili a seconda della potenza del complesso, e le induttanze da usare si realizzano

sperimentalmente per tentativi, spostando delle staffe mobili o delle spine. Invece il progetto di un complesso radiotelegrafico comprende il calcolo delle bobine di induttanza, che si esegue, trascurando la piccola induttanza dei conduttori del resto del circuito. I tipi di bobine d'induttanza, generalmente in uso nei circuiti trasmettenti sono: l'avvolgimento ad elica cilindrica in un solo strato (Fig. 207 e 208) e l'avvolgimento a spirale piatta, di filo o di nastro metallico nudo (Fig. 209 e 210). Le bobine d'induttanza dei cimometri sono invece a più strati ravvicinati di filo isolato (Fig. 211 e 212). Le induttanze degli apparati riceventi sono generalmente ad un unico strato di fili isolati (Fig. 213). Il filo o il nastro è avvolto su sagome di materiali isolanti, coll'assoluta esclusione del ferro.

Bobina d'induttanza di filo avvolto a spirale cilindrica. — L'induttanza della bobina rappresentata in Fig. 207 è data in microhenry dalla relazione:

$$L=\frac{0,0395a^2n^2 K}{b} \qquad (89)$$

in cui (Fig. 211) a è il raggio medio del solenoide, b la lunghezza totale del solenoide stesso, n il numero di spire del filo, d il diametro del filo nudo, K un fattore di forma, che dipende dal rapporto fra diametro e lunghezza del solenoide, D è la distanza fra i centri di due conduttori consecutivi, e c lo spessore radiale dell'avvolgimento. Tutte le lunghezze sono espresse in cm. È riportata più sotto una tabella dei valori di K.

Si trovi ad esempio l'induttanza di un solenoide, avente 15 spire di filo nudo del diametro di cm 0,4; la distanza fra i centri di due fili consecutivi sia di cm 1,1, il diametro del nucleo cm 24. Poniamo nella relazione (89) $d=0,4$ cm, $D=1,1$ cm, $n=15$, $b=nD=16,5$ cm, $a=12+0,2=12,2$ cm. Per $\frac{2a}{b}=\frac{24.4}{16,5}=1,48$, la tabella ci dà $K=0,598$. L'induttanza in microhenry sarà:

$$L=\frac{0,0395\times 12,2^2\times 15^2}{16.5}\times 0,598=48,0$$

TABELLA DEI VALORI DI K

(Fattore di forma delle bobine d'induttanza elicoidali))

Diametro / Lunghezza	K	Diametro / Lunghezza	K	Diametro / Lunghezza	K
0.00	1.000	0.70	0,761	3.50	0.394
.05	0.979	0.80	.735	4.00	.365
.10	.959	0.90	.711	5.0	.320
.15	.939	1,00	,688	6.0	.285
.20	.920	1.25	.638	7.0	.258
.25	.902	1.50	.595	8.0	.237
.30	.884	1.75	.558	9.0	.219
.40	.850	2,00	.526	10.0	.203
.50	.818	2.50	.472	25.0	.105
.60	.789	3.00	.429	100.0	.035

Bobina d'induttanza di nastro metallico avvolto a spirale cilindrica. — Riferiamoci alla Fig. 208. La formula relativa a questo tipo di bobina è:

$$L = \frac{0{,}0395 a^2 n^2 K}{b} - \frac{0{,}0126 n^2 a c}{b} \qquad (90)$$

espressa in microhenry; K è dato dalla tabella su riportata.

Calcoliamo ad esempio l'induttanza di una bobina, costituita da 30 spire di nastro metallico avvolto elicoidalmente, largo cm 0,635 e dello spessore di cm 0.159. L'intervallo di avvolgimento fra due nastri consecutivi sia di cm 0,365 e il diametro medio del solenoide sia di cm 25,4 Sarà: $D=0{,}635$ cm, $a=12{,}7$ cm, $c=0{,}635$ cm, $b=nD=30\times0{,}635=19{,}05$ cm. Per $\frac{2a}{b}=1{,}333$, $K=0{,}623$.

Avremo allora:

$$L = \frac{0{,}0395\times12{,}7^2\times900\times0{,}623}{19{,}05} - \frac{0{,}0126\times900\times12{,}7\times0{,}635}{19{,}05}$$

$L=187{,}4-4{,}9$

$L=182{,}5$ microhenry.

Bobina d'induttanza a spirale piatta (Fig. 209 e 210). — L'induttanza di una bobina a spirale piatta è data dalla formula:

$$L=0{,}01257\, an^2\times\left[2{,}303\left(1+\frac{b^2}{32a^2}+\frac{c^2}{96a^2}\right)\log_{10}\frac{8a}{d}-y_1+\frac{c^2}{16a^2}y_2\right] \qquad (91)$$

dove $a=a_1+\frac{1}{2}(n-1)D$; $d=\sqrt{b^2+c^2}$; ed y_1 e y_2 sono dei fattori di forma dati dalla tabella seguente:

Fattori di forma per una bobina d'induttanza a spirale piatta

b/c	y_1	y_2	b/c	y_1	y_2
0	0.500	0.597	0.50	0.796	0.677
0.025	.525	.598	.55	.802	.690
.05	.549	.599	.60	.818	.702
.10	.592	.602	.65	.826	.715
.15	.631	.608	.70	.833	.729
.20	.665	.615	.75	.838	.742
.25	.695	.624	.80	.842	.756
.30	.722	.633	.85	.845	.771
.35	.745	.643	.90	.847	.786
.40	.764	.654	.95	.848	.801
.45	.782	.665	1.00	.848	.816

Esempio. — Si abbia una bobina costituita da 38 spire di nastro di rame avvolto a spirale piatta. La sezione del nastro abbia le dimensioni di 0,953 cm. per 0,759 cm; il diametro interno sia 10,3 cm, e l'intervallo di avvolgimento fra due nastri consecutivi sia di 0.4 cm. Sarà $n=38$, $b=0{,}953$, $D=0{,}4$, $c=nD=38\times0{,}4=$ 15,2 cm; $2a_1=10{,}3$; perciò $a=5{,}15+\frac{37}{2}\times0{,}4=12{,}55$ cm; $d=\sqrt{0{,}953^2+15{,}2^2}=15{,}23$

cm.; $\frac{8a}{d}=6,592$; $\frac{b^2}{32^2a}=0,0002$; $\frac{c^2}{96a^2}=0,0152$; $\frac{c^2}{16a^2}=0,091$; b/c=0,0627. Dalla tabella si ricava $y_1=0,5604$ e $y_2=0,599$; e dalla relazione (91):

$L=0,01257\times12,5\times38^2\times[2,303\times1,015\times\log_{10}6,592-0,5604+0,091\times0,599]$.

$L=323,3$ microhenry, coll'approssimazione del 0,33 per cento.

Bobina d'induttanza a strati multipli. — La bobina è costituita di filo isolato avvolto strettamente insieme, come è indicato in Fig. 211. Bobine d'induttanza di questo tipo si usano nei cimometri. L'armatura isolante, sulla quale si avvolge il filo, è in sezione rappresentata dalla Fig. 212. L'induttanza è data dalla relazione:

$$L=\frac{0,0395a^2n^2K}{b}-\frac{0,0126\,n^2ac}{b}(0,693+E) \qquad (92)$$

dove E si ricava dalla seguente tabella:

b/c	E	b/c	E
1	0.000	12	0.289
2	.120	14	.296
3	.175	16	.302
4	.208	18	.306
5	.229	2 /	.310
6	.245	22	.313
7	.256	24	.316
8	.266	26	.318
9	.273	28	.320
10	.279	30	.322

Si consideri ad esempio una bobina costituita da 15 strati di filo isolato, composti ciascuno di 15 spire; la bobina abbia il raggio medio di 5 cm: una profondità di avvolgimento di cm 1,5 ed una lunghezza assiale di cm 1,5. In questo caso: $a=5$, $n=225$, $b=c=1,5$. Dalle tabelle si ricava $K=0,267$ ed E=zero. Allora dalla formula (94) si ha:

$$L=\frac{0,03948\times25\times225^2}{1,5}\times0,267-\frac{0,01257\times225^2\times5\times1,5}{1,5}\times0,693$$

$L=8887-2205$

$L=6682$ microhenry.

Bobina d'induttanza ad un solo strato. — Riferiamoci alla Fig. 213. — L'induttanza si calcola colla formula (89). Si abbia ad esempio una bobina di 400 spire di filo avvolto in un unico strato; la distanza fra i centri di due fili successivi sia di 0,1 cm; il raggio della bobina, misurato al centro del filo esterno, sia di 10 cm. In questo caso, $a=10$, $n=400$; $D=0,1$, $b=nD=40$. Per $\frac{2a}{b}=\frac{20}{40}=0,5$, si trova $K=0,818$. Sarà:

$$L=\frac{0,03948\times100\times400^2}{40}\times0,818=1930 \text{ microhenry}$$

171. Misure sugli apparati trasmettenti. — Negli apparati trasmettenti di potenza elevata conviene disporre di strumenti, che permettano di leggere l'intensità e la frequenza della corrente fornita dal generatore, la tensione di questo, e la potenza assorbita dal complesso. I quattro strumenti, amperometro, volmetro, frequenzimetro e wattometro sono fissati sul quadro di manovra. La misura dei vari elementi di un circuito r. t. si esegue nel modo seguente.

Tensione. — Un metodo semplice, per misurare la tensione di una corrente alternata a frequenza radiotelegrafica o industriale, consiste nel misurare la lunghezza dell'intervallo spinterometrico d'aria, alla quale la scintilla scocca, quando gli elettrodi abbiano forma e dimensioni determinate. La tabella seguente dà i valori approssimati delle « tensioni disruptive » nell'aria fra due sfere di ottone di 2 cm di diametro, per diverse lunghezze dell'intervallo spinterometrico.

Intervallo spinterometrico cm	Tensione
0.1	4,700
0.2	8,100
0.3	11,400
0.4	14,500
0.5	17,500
0.6	20,400
1.0	31,300
2.0	47,400

Corrente. — La misura più importante di corrente, che ricorra nella pratica, è quella della corrente di antenna. Essa si esegue, inserendo nella coda di entrata dell'aereo o nel filo di terra un amperometro a filo caldo. Una lettura di corrente all'amperometro, inferiore al valore normale, è indizio di anomalie o nella regolazione dell'apparato o nella presa di terra, e la portata di trasmissione risulta ridotta. Per evitare dannose interferenze con altre stazioni, la corrente d'aereo non deve superare il valore, che garantisce la trasmissione alla distanza desiderata. Come si è già detto, al posto dell'amperometro si può inserire anche una

lampada a bassa resistenza. Quando il circuito oscillante chiuso e l'antenna non sono in risonanza, il filamento della lampada appare appena incandescente o non si accende affatto. Le misure di corrente ricorrono anche per la determinazione indiretta di altre grandezze.

Lunghezza d'onda. — L'uso e la teoria del cimometro sono stati spiegati nei par. 112 e 168. Un cimometro, accoppiato induttivamente ad un circuito r. t. o ad un'antenna, percorsa da correnti oscillanti, rivela un notevole aumento di corrente, quando è portato alla risonanza col circuito di eccitazione. La lunghezza d'onda si ricava dalla lettura del cimometro, nella posizione di risonanza, o direttamente, o ricorrendo ad una curva di taratura. La lunghezza delle onde in arrivo si può anche misurare con un apparato ricevente, che sia stato preventivamente tarato per varie lunghezze d'onda. La taratura si può eseguire mediante il dispositivo indicato in Fig. 214, in cui Z è un vibratore, LC un cimometro, ed A l'induttanza del circuito ricevente.

L'operatore sta in ascolto al telefono dell'apparato ricevente (non rappresentato in figura). Variando man mano la regolazione del cimometro, egli sentirà un suono più forte, quando avrà raggiunto la condizione di risonanza fra il circuito del cimometro e l'apparato ricevente; leggerà allora sulla scala del cimometro o sulla curva di taratura la lunghezza d'onda, corrispondente alla regolazione eseguita. Procedendo in questo modo, è possibile tarare il circuito ricevente come un cimometro, facendo successivamente variare la sua induttanza o la sua capacità, e leggendo ogni volta sul cimometro la lunghezza d'onda realizzata alla risonanza. Tarato in questa guisa l'apparato ricevente, l'uso del cimometro diventa superfluo, e l'operatore può sintonizzare esattamente il suo ricevitore per la lunghezza d'onda, per cui è in ascolto.

Induttanza. — Per misurare l'induttanza incognita L_x di una bobina, si eccita con un vibratore un circuito oscillante sintonizzato per una determinata lunghezza d'onda (Fig. 215 A). Si avvicina a questo un cimometro di induttanza nota L, e se ne regola il condensatore variabile C alla risonanza, servendosi di

un raddrizzatore e di un telefono. Si sostituisce quindi nel cimometro all'induttanza L quella L_x, e si varia la capacità C fino ad un nuovo valore C_1, per il quale si verifichi nuovamente la condizione di risonanza. Sarà $LC=L_xC_1$, e $L_x=L\frac{C}{C_1}$, oppure $L_x=L\left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right)^2$, se il cimometro è tarato senz'altro in funzione della lunghezza d'onda. Il valore così ricavato dà l'induttanza della bobina, relativa alla frequenza della corrente oscillante fornita dalla sorgente di alimentazione (par. 114). Un valore più esatto di L_x si potrà avere, facendo la media dei valori, ottenuti con diverse frequenze di alimentazione.

Un secondo metodo, per misurare un'induttanza incognita, consiste nell'usare, anzichè un'induttanza campione, un condensatore campione (Fig. 215-*B*). Ai capi di L_x si guarnisce il condensatore campione C, ed il circuito è fatto oscillare dal vibratore Z: la lunghezza d'onda si misura con un cimometro, ed L_x si calcola con la formula $\lambda_m=1884\sqrt{CL_x}$.

Capacità dei condensatori. — Il metodo più semplice per misurare la capacità di un condensatore è quello di confrontarlo con un condensatore campione variabile. Si eccita un circuito oscillante LC col vibratore Z; e si mette il condensatore di capacità incognita C_x in serie con un'induttanza L_1; indi si regola il circuito LC alla risonanza col circuito L_1C_x. Si sostituisce poi al condensatore incognito C_x un condensatore campione C_s, e si regola il circuito L_1C_s alla risonanza col circuito di eccitazione. La capacità incognita del condensatore C_x è data dalla lettura del condensatore campione C_s.

Se non è possibile disporre di un condensatore campione, si può trovare la capacità incognita del condensatore, collegandolo ad una induttanza di valore noto L, ed eccitando il circuito con un vibratore. Si legge poi in un cimometro la lunghezza d'onda irradiata (Fig. 216-B). C_x si ricava dalla formula $\lambda_n=1884\sqrt{C_xL}$.

Il primo dei due metodi, quello di confronto, dà risultati esatti, mentre il secondo dà luogo ad errori, per effetto della

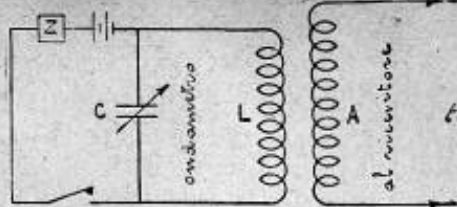



Fig. 214
Taratura di un ricevitore per varie lunghezze d'onda.

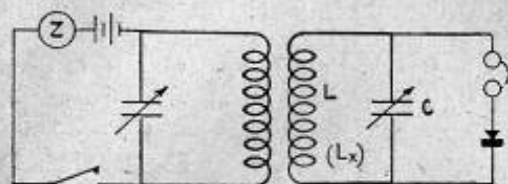



Fig. 215-A

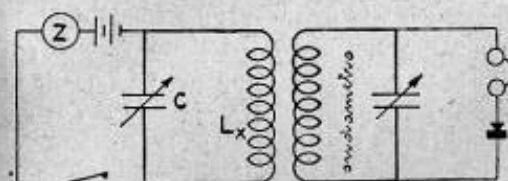



Fig. 215-B

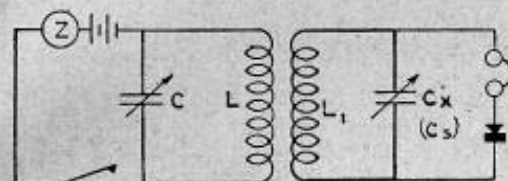



Fig. 216-A

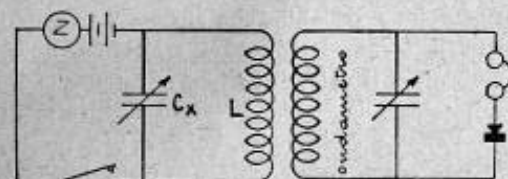



Fig. 216-B

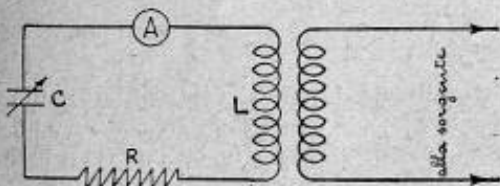



Fig. 217

capacità distribuita delle spire della bobina e della capacità e induttanza dei conduttori di connessione. Se la capacità da misurare è notevole, l'entità di tali errori è trascurabile.

Resistenza e decremento. — Per la misura della resistenza ad alta frequenza o del decremento si usano tre metodi diversi: (1) per sostituzione di resistenza, (2) per variazione di resistenza, e (3) per variazione di reattanza. Nota la resistenza R, la semplice relazione $\delta = 19{,}7 R f C$ permette di calcolare il decremento, e viceversa. C è la capacità alla risonanza, che si legge sulla scala o sulla curva di taratura del condensatore. Dei tre metodi, il primo è il migliore, se si può disporre di una resistenza campione, variabile, tarata per alte frequenze; il secondo richiede delle resistenze campione, ma non necessariamente variabili; il terzo non si basa sull'uso di resistenze campione, ed è quello in pratica più conveniente per la misura del decremento. Tutti e tre i metodi danno risultati più esatti, se le onde irradiate dal circuito oscillante eccitatore sono persistenti o debolmente smorzate. Nel metodo di sostituzione di resistenza, la resistenza R da misurare si inserisce in un circuito oscillante, costituito da un condensatore variabile C e da una bobina d'induttanza L, accoppiata in modo lasco colla sorgente, com'è indicato in Fig. 217.

In A si inserisce un amperometro a filo caldo. Si porta il circuito R, L, C alla risonanza col circuito d'eccitazione, e si fa una lettura all'amperometro A. Si sostituisce poi la resistenza R con una resistenza campione variabile, che si regola in modo da fare all'amperometro la stessa lettura. La resistenza nota, che si è inserita, dà senz'altro il valore di R. Le resistenze campione, da usare in radiotelegrafia, devono essere costituite di filo sottile, per evitare l'effetto della pelle, corto e ben tesato, in modo da offrire un'induttanza praticamente trascurabile.

B. Apparati per la trasmissione di onde continue.

172. Vantaggi delle oscillazioni persistenti. — Le oscillazioni persistenti non sono, come le oscillazioni smorzate, suddivise in treni d'oscillazioni. Esse si susseguono l'un l'altra in

maniera continua, esattamente come avviene pei cicli di corrente alternata, a meno che non si interrompano col tasto da segnalazione, o non si modulino, non si sottopongano cioè a graduali variazioni di intensità, come avviene nella radiotelefonia. Le oscillazioni persistenti si possono produrre o cogli alternatori ad alta frequenza, o cogli archi, o coi triodi. In questo capitolo non si tratterà dei triodi, argomento che sarà oggetto del capitolo seguente. I principali vantaggi delle onde persistenti sono i seguenti: (1) Si prestano alla soluzione del problema della radiotelefonia. (2) Consentono una sintonizzazione acuta, e di conseguenza permettono di ridurre eventuali interferenze fra le trasmissioni di stazioni vicine. Infatti una variazione anche minima della regolazione mette l'apparato ricevente fuori sintonia, e l'operatore, che manovra troppo rapidamente il volantino del condensatore di sintonia, facilmente sorpassa la posizione che ricerca. (3) Poichè le oscillazioni si seguono con continuità, e non per brevi intervalli di tempo, come avviene nel caso di onde smorzate (par. 160), le loro ampiezze, a parità di energia messa in giuoco, possono essere minori, e quindi sono molto minori le tensioni applicate al condensatore di trasmissione ed all'antenna. (4) Trasmettendo con onde smorzate, la nota dei segnali ricevuti dipende esclusivamente dal numero di scariche al secondo, che avvengono nel trasmettitore. Impiegando invece onde persistenti, l'operatore, che riceve, può regolare la nota dei segnali ricevuti, e renderla acuta quanto desidera, in modo da distinguere le trasmissioni dai disturbi atmosferici, e adattare i segnali in arrivo alla sensibilità dell'orecchio e del telefono. Questi vantaggi: l'eliminazione di interferenze con altre stazioni, ottenuta per mezzo della sintonia selettiva, l'uso di note acute e di tensioni moderate e la maggior indipendenza dai disturbi atmosferici consentono trasmissioni più rapide di quelle, che si possono realizzare, usando onde smorzate.

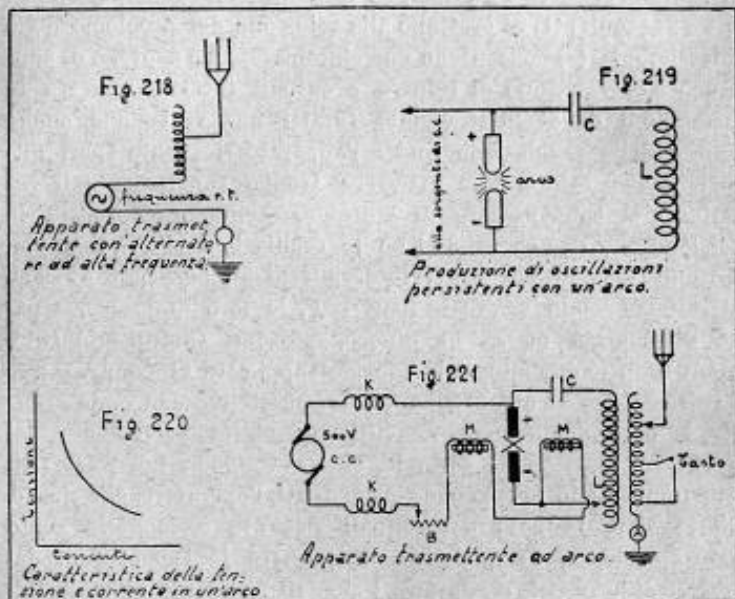
173. **Alternatori ad alta frequenza.** — Per la produzione di oscillazioni continue si può usare un generatore di corrente alternata ad altissima frequenza (par. 95), collegandolo diretta-

mente all'antenna ed alla terra (Fig. 218). Si ha in tal modo lo schema più semplice di un apparato per la produzione di onde continue. Tuttavia per ottenere lunghezze d'onda dell'ordine di 1500 metri, la frequenza della corrente generata dall'alternatore deve raggiungere i 200.000 periodi al secondo. La velocità, con cui il generatore deve marciare, per produrre una frequenza di quest'ordine è così elevata, che una macchina di

Apparato trasmettente con alternatore ad alta frequenza

Produzione di oscillazioni persistenti con un'arco.

Caratteristica della tensione e corrente in un'arco

Apparato trasmettente ad arco.

questo tipo presenta caratteristiche di costruzione tutt'affatto speciali. Essa inoltre deve essere fornita di un esattissimo regolatore di velocità, perchè la lunghezza dell'onda irradiata non vari (essendo $\lambda_n = 300,000,000$). Questo metodo non si presta alla produzione di onde molto corte, per le quali convengono meglio i triodi (par. 198).

174. Arco Poulsen. — Un dispositivo molto più usato per la produzione di onde persistenti di lunghezza piuttosto notevole

si basa sull'impiego di un arco alimentato con corrente continua a tensione relativamente elevata (per es. 500 volt). Un arco voltaico, che si formi fra due elettrodi appropriati, dà origine in un circuito oscillante, costituito da un'induttanza e da un condensatore, e derivato sugli elettrodi dell'arco ad oscillazioni persistenti. Lo schema di un tale dispositivo è rappresentato in Fig. 219; e il suo funzionamento è il seguente.

La corrente attraversa l'arco sempre nello stesso senso; ma con intensità variabile Quando la corrente nell'arco cresce, la tensione ai suoi terminali si abbassa (Fig. 220). Supponiamo di accendere l'arco col circuito *CL* escluso. Nel momento in cui deriviamo detto circuito, l'armatura di sinistra del condensatore *C*, che nella figura 219 risulta positiva, comincia a caricarsi e sottrae corrente all'arco. La differenza di potenziale ai capi dell'arco aumenta (Fig. 220) ed aiuta la carica del condensatore, il quale continua a caricarsi fino a che la forza controelettromotrice, che si stabilisce fra le sue armature, giunge ad equilibrare la tensione applicata. Quando la carica sta per finire, la corrente di carica diminuisce gradualmente, e la corrente nell'arco riprende man mano il suo valore iniziale, dando luogo ad una corrispondente caduta di tensione ai capi dell'arco. Il condensatore allora comincia a scaricarsi attraverso l'arco; aumenta quindi la corrente nell'arco e diminuisce la differenza di potenziale ai suoi capi. L'abbassarsi della tensione ai terminali dell'arco aiuta la scarica del condensatore, e l'induttanza del circuito tende a prolungare il passaggio della corrente, per modo che sulle armature del condensatore si accumula una carica di segno opposto al precedente. Man mano poi che la carica si avvicina alla fine, la corrente di carica diminuisce gradualmente; diminuisce la corrente nell'arco e si ha un aumento di tensione. Questo aumento agisce nel senso di rendere positiva l'armatura di sinistra di *C*; e le cariche positive dell'armatura di destra tornano indietro attraverso l'arco; diminuisce così l'intensità della corrente. Vi è di conseguenza un ulteriore aumento di tensione (Fig. 220), ed in direzione tale da aiutare, prima la scarica del condensatore, e poi la carica nella direzione opposta. Il fenomeno

si ripete, per modo che nel circuito derivato ai capi dell'arco si stabiliscono delle oscillazioni continue.

L'induttanza si accoppia all'antenna, come in Fig. 221, che riproduce lo schema completo di un apparato trasmettente ad arco. Il generatore a corrente continua è munito di induttanze di arresto *KK*, necessarie per impedire che le oscillazioni ad alta frequenza si rovescino sul generatore. *B* è la resistenza zavorra dell'arco. Si ha una corrente oscillatoria più intensa, se l'arco brucia in un forte campo magnetico, che soffi l'arco stesso (è questo lo scopo dei 4 magneti *MM*), e in una cassa chiusa contenente idrogeno. L'elettrodo positivo è di rame ed il negativo di carbone compatto; entrambi sono di dimensioni relativamente grandi e raffreddati con circolazione d'acqua. Il circuito derivato *CL* è quello stesso della Fig. 219. Il tasto di segnalazione è inserito, in modo da mettere in corto circuito, quando chiuso, alcune spire dell'induttanza di aereo, cosicchè l'apparato irradia onde della lunghezza prestabilita. A tasto alzato invece, il circuito d'aereo non è più sintonizzato col circuito dell'arco e la corrente d'antenna diviene trascurabile, realizzandosi in tal modo i necessari intervalli tra i punti e le linee.

Modificando leggermente lo schema, rappresentato in Fig. 218 o Fig. 221, si ha la possibilità di adattare l'apparato alla trasmissione radiotelefonica. A tal uopo si può inserire nel filo di terra un microfono capace di sopportare la corrente di antenna. Le vibrazioni prodotte nel microfono dalle onde sonore fanno variare la resistenza dell'antenna, e modulano le oscillazioni e quindi le onde trasmesse.

175. Regolazione di un complesso trasmettente a onde continue. — In un alternatore ad alta frequenza la frequenza, e quindi la lunghezza d'onda, è funzione della velocità del generatore e del numero dei poli. L'induttanza e la capacità dell'antenna devono essere tali, che la frequenza naturale del circuito dell'antenna sia quella della corrente generata dall'alternatore. Lo scopo si raggiunge, regolando l'induttanza addizionale dell'antenna, in modo da avere nell'amperometro a filo caldo la corrente massima (Fig. 218).

Per i complessi ad arco si usa lo stesso metodo. La lunghezza d'onda desiderata si realizza, variando a circuito d'aereo aperto, *C* od *L*, (Fig. 219, 221), mediante confronto con un cimometro, regolato alla lunghezza d'onda prestabilita. Si sintonizza quindi l'antenna per la stessa lunghezza d'onda, variando l'induttanza addizionale fino a che l'amperometro a filo caldo dia l'indicazione di corrente massima. Invece di un amperometro si può usare un lampadino spia, munito di shunt, il quale si accenda soltanto quando i circuiti sono in risonanza. Il lampadino può essere inserito direttamente nel filo di terra, o può essere induttivamente collegato ad esso.

C. Apparati riceventi.

176. Principi generali. — Gli apparati riceventi si dividono in due classi principali; quelli per onde smorzate e quelli per onde persistenti. In pratica i ricevitori per onde smorzate hanno schemi più semplici, e costituiscono quindi un buon punto di partenza per la trattazione generale degli apparati riceventi; da questi, con alcune leggere modifiche, si passerà poi ai ricevitori per onde continue. Le onde smorzate si ricevono comunemente con un raddrizzatore a cristallo o a triodo ed un ricevitore telefonico (par. 179 e 191). La nota, che si sente nel telefono, dipende dal numero dei gruppi di onde smorzate al secondo. Le onde continue si ricevono ordinariamente mediante la produzione di battimenti fra le oscillazioni in arrivo e altre oscillazioni prodotte da un generatore locale (sistema a eterodine). Dei ricevitori per onde continue sarà detto in seguito, mentre in primo tempo saranno descritti i tipi di ricevitori più semplici, allo scopo di illustrarne i principi di funzionamento.

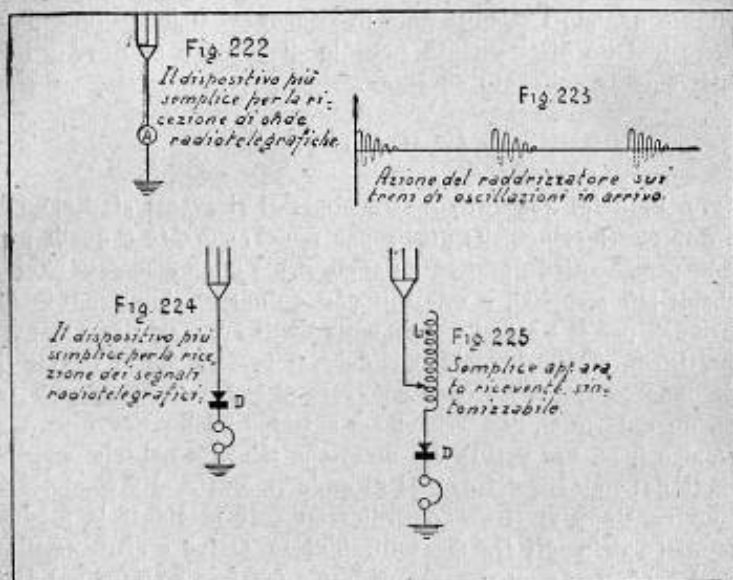
Il principio fondamentale, su cui si basa la ricezione dei segnali, è quello della risonanza. Se i circuiti riceventi sono regolati in modo da oscillare colla frequenza delle onde in arrivo, queste, benchè estremamente deboli, danno origine in essi, dopo poco impulsi, ad oscillazioni relativamente ampie. Quello che dunque occorre per la ricezione dei segnali è un'antenna sin-

tonizzata per la lunghezza delle onde irradiate dalla stazione trasmettente, ed uno strumento, capace di rivelare le correnti oscillanti nell'antenna ricevente. La Fig. 222 rappresenta lo schema più semplice di una stazione ricevente, e si presta alla ricezione sia di onde smorzate che di onde persistenti. In *A* è rappresentato un'amperometro: però la corrente nella coda d'aereo è così debole che solo un'amperometro a filo caldo sensibilissimo potrebbe essere influenzato da esse. Gli amperometri

Fig. 222 — Il dispositivo più semplice per la ricezione di onde radiotelegrafiche.

Fig. 223 — Azione del raddrizzatore sui treni di oscillazioni in arrivo.

Fig. 224 — Il dispositivo più semplice per la ricezione dei segnali radiotelegrafici.

Fig. 225 — Semplice apparato ricevente sintonizzabile.

inoltre si prestano meglio a misure quantitative di corrente, che non a mettere in evidenza i segnali telegrafici in arrivo: essi infatti potrebbero dare indicazioni distinte in corrispondenza dei punti e delle linee, nel solo caso che la trasmissione dei segni fosse lentissima: ma questo tipo di trasmissione non potrebbe essere praticamente efficiente.

Uso del telefono. — Un dispositivo ricevente più sensibile è il telefono; ed in particolare un ricevitore telefonico, il cui roc-

chetto sia costituito da molte spire di filo avvolte strettamente insieme. La corrente è rivelata dalle vibrazioni, a frequenza acustica, della membrana telefonica; ma la frequenza delle correnti radiotelegrafiche è così elevata che la membrana di un telefono non potrebbe seguirne le oscillazioni. Essa infatti sarebbe sollecitata a muoversi quasi nello stesso istante nei due sensi, e in realtà resterebbe ferma. Per eliminare tale difficoltà, si inserisce in serie col telefono un cristallo raddrizzatore, il quale compie la funzione di lasciar passare la corrente soltanto in un determinato senso, o, più esattamente rende trascurabile la corrente di senso opposto in confronto alla precedente (Fig. 51). Trattandosi di ricevere onde smorzate, è bene ricordare che le onde si seguono a treni largamente intervallati: l'effetto di raddrizzamento del cristallo sulle oscillazioni smorzate è illustrato dalla Fig. 223, nella quale le semionde inferiori sono punteggiate per rappresentare la parte di corrente, che il raddrizzatore in pratica sopprime.

L'effetto cumulativo di un treno d'onde, irradiato dal trasmettitore durante la scarica del condensatore, si risolve in un unico impulso alla membrana del telefono, che si sposta dalla sua posizione di riposo. Il numero degli impulsi, che la membrana subisce in un secondo, è eguale al numero dei treni d'onde, che arrivano sull'antenna nello stesso intervallo di tempo. La frequenza radiotelegrafica di un'onda lunga 300 metri è di 1.000.000: se il trasmettitore irradia 1000 treni d'onde al secondo, la frequenza telefonica della trasmissione è di 1000; la prima cioè è mille volte più elevata della seconda. Il limite superiore delle frequenze percettibili dall'orecchio umano oscilla fra 16.000 e 20.000 onde sonore al secondo; cosicchè, anche se il diaframma del telefono potesse, senza raddrizzatore, seguire oscillazioni di frequenza radiotelegrafica, l'orecchio non potrebbe avvertire i segnali. Nella segnalazione telegrafica la durata di un punto o di una linea è tale che ciascun segno contiene molti gruppi di onde, e nel telefono si sente per tutta la durata del punto o della linea, un suono, la cui nota dipende dalla frequenza della scintilla.

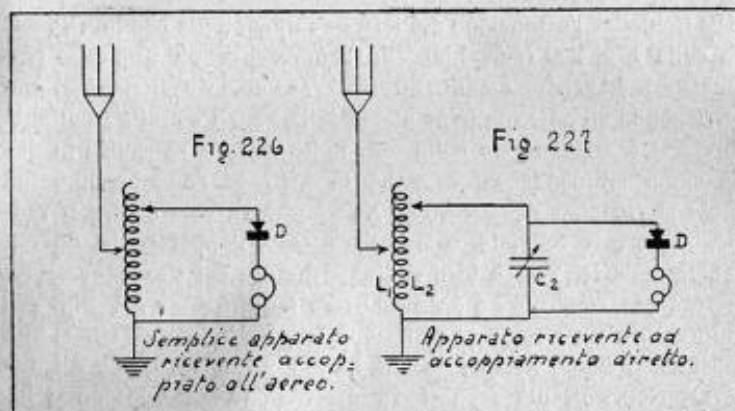
Apparati riceventi semplici. — In Fig. 224 è indicato lo schema più semplice per la ricezione con telefono. Esso si presta solo alla ricezione di onde smorzate. *D* rappresenta il raddrizzatore, che comunemente si suole anche chiamare « rivelatore », sebbene in effetti nulla riveli, la sua azione consistendo nel modificare le onde, in modo che il telefono possa rivelarle. Sembrerebbe che un dispositivo di questo tipo dovesse ricevere di preferenza trasmissioni aventi la sua lunghezza d'onda naturale o quasi. Invece la presenza del raddrizzatore e del telefono introduce nel circuito d'antenna una notevole resistenza; per cui esso risulta poco selettivo, e sensibile ad un'ampia zona di lunghezze d'onda. È possibile sintonizzare l'antenna ricevente per una determinata lunghezza d'onda, completando lo schema con un'induttanza di sintonizzazione *L* (Fig. 225). Questo schema è perfettamente analogo a quello a « plain aerial » della Fig. 194, nel quale si sostituiscano al posto dello spinterometro (punto, in cui la potenza è applicata all'aereo) il raddrizzatore ed il telefono (punto, in cui la potenza ricevuta lascia l'antenna).

È bene notare, contrariamente a quanto possa sembrare ai profani, la semplicità di un dispositivo di questo genere; per ricevere trasmissioni da stazioni ad onde smorzate, basta un telefono, un raddrizzatore ed un circuito sintonizzabile. Esso ha tuttavia l'inconveniente, che non si presta ad eliminare le trasmissioni aventi una lunghezza d'onda non molto diversa da quella, per la quale si è in attenzione: ed inoltre la sensibile resistenza del raddrizzatore e del telefono riduce assai l'ampiezza delle oscillazioni. La resistenza più notevole è quella del telefono.

Il dispositivo della Fig. 225 dà buoni risultati, anche se il telefono si deriva sul raddrizzatore, anzichè essere in serie con esso. In tal caso si ha il funzionamento seguente. Supponiamo che la corrente passi nel raddrizzatore dal basso all'alto, ma non in senso contrario. Quando l'antenna è eccitata da un treno di onde in arrivo, accumula una carica positiva, che, durante gli intervalli fra i diversi treni, si scarica attraverso il telefono, non potendo attraversare dall'alto al basso il raddrizzatore. In tal

guisa delle pulsazioni di corrente passano nel telefono, man mano che arrivano i successivi treni d'onde.

177. Circuiti tipici per la ricezione di onde smorzate. — Per evitare gli inconvenienti, che derivano dalla presenza del raddrizzatore nel circuito di antenna, si preferisce disporlo in un circuito separato, accoppiato all'antenna stessa. Da un diverso punto di vista si suol dire che gli strumenti rivelatori shuntano l'induttanza di sintonia. La Fig. 226 rappresenta un miglioramento dello schema precedente, senza richiedere un maggior numero di apparecchi; l'induttanza di sintonia ha però due prese mobili anzichè una sola. Con questa modifica le oscillazioni avvengono libera-

mente fra l'antenna e la terra. In figura sono rappresentati due telefoni ricevitori collegati in serie, uno per ciascun orecchio.

Apparato ricevente ad accoppiamento diretto. — Un altro miglioramento, con particolare riguardo alla selettività, è realizzato nella figura 227, e consiste nell'aggiunta di un condensatore variabile C_2. Ne risulta uno schema di ricevitore, che dicesi ad accoppiamento diretto. Sia L_1 l'induttanza del circuito di antenna, C_1 la capacità dell'antenna rispetto alla terra, ed L_2 e C_2 siano le costanti corrispondenti del circuito oscillante chiuso. Il circuito d'antenna si dice circuito primario, poichè, attraverso ad esso,

l'energia passa nell'apparato ricevente propriamente detto. Il circuito L_2 C_2 si dice circuito secondario, ed è il circuito oscillante chiuso. Nello stesso modo in cui l'antenna è un buon radiatore di energia, durante la trasmissione, così è un ottimo captatore di energia nella ricezione. L'antenna si porta alla risonanza per le onde in arrivo, regolando il valore di L_1. L'energia quindi passa dal primario nel secondario, che si regola alla risonanza, variando i valori di L_2 e C_2. Le oscillazioni nel secondario sono relativamente ampie, e caricano il condensatore, il quale poi nella scarica dà luogo ad oscillazioni nel circuito del raddrizzatore e del telefono, che non sono a forte decremento, così da permettere una sintonia acuta.

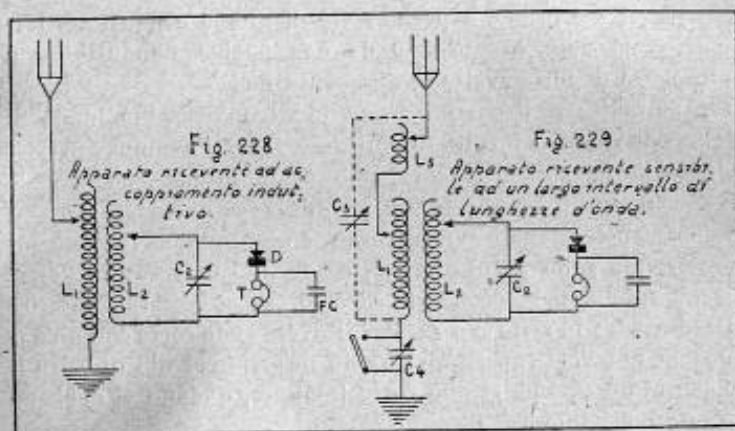
Si richiama l'attenzione del lettore sull'analogia che la Fig. 227 ha colla Fig. 200 (par. 166), che rappresenta un apparato trasmettente ad accoppiamento diretto. L'antenna ricevitrice dell'uno corrisponde all'antenna irradiatrice dell'altro; i circuiti oscillanti chiusi si corrispondono colle loro induttanze e capacità; in derivazione sul condensatore si ha in un caso l'apparecchio, nel quale si ricupera l'energia che ha viaggiato, vale a dire il raddrizzatore e il telefono, e nell'altro caso, l'apparecchio, da cui l'energia parte, vale a dire il trasformatore col suo generatore.

Apparato ricevente ad accoppiamento induttivo. — La Fig. 228 rappresenta un ricevitore ad accoppiamento induttivo, che si può considerare come il tipo, da cui hanno preso le mosse gli apparati ricevitori più recenti. In derivazione sul telefono si ha un condensatore di capacità fissa intorno a 0,005 μF, dispositivo col quale si riesce ad aumentare l'intensità dei segnali. Il suo funzionamento è il seguente. Supponiamo che la corrente principale attraversi il raddrizzatore ed il telefono nel senso dall'alto al basso. L'armatura superiore del condensatore si caricherà positivamente. Quando l'oscillazione si inverte, cessa in D ed in T il passaggio della corrente; il condensatore si scarica attraverso T e fornisce esso corrente fino a che una nuova oscillazione arriva sull'antenna. In tal guisa gli intervalli fra le successive pulsazioni della corrente raddrizzata vengono riempiti, e l'effetto cumulativo di un treno d'onda risulta rinforzato.

In pratica il cordone telefonico, essendo composto da due conduttori separati da un dielettrico, costituisce esso stesso un condensatore, che in alcuni casi è sufficiente a disimpegnare la funzione del condensatore aggiunto: per modo che l'inserzione del condensatore, in derivazione sul telefono, può talvolta non migliorare la ricezione dei segnali.

Lo schema della Fig. 228 dà luogo ad un funzionamento analogo a quello, che si ha in un apparato ricevitore ad accoppiamento diretto (Fig. 227). In un caso e nell'altro, per effetto dell'accoppiamento del primario al secondario, si hanno reazioni

Fig. 228
Apparato ricevente ad accoppiamento induttivo.

Fig. 229
Apparato ricevente sensibile ad un largo intervallo di lunghezze d'onda.

tra i due avvolgimenti, che danno origine ad oscillazioni di due frequenze diverse (par. 163). Tuttavia, se la resistenza dei due circuiti è piccola, si riesce a realizzare una sintonia assai acuta. L'antenna si sintonizza per le onde in arrivo, per mezzo dell'induttanza L_1. Qualche volta per affinare la regolazione del primario alla risonanza, si shunta L_1 con un condensatore variabile; il secondario si sintonizza poi col primario, e i tentativi per raggiungere la risonanza si fanno alternativamente sul primario e sul secondario, fino a che il telefono dà il suono più intenso. La sintonizzazione del secondario si fa prima grossolanamente,

variando l'induttanza L_2, e poi si affina, regolando il condensatore variabile C_2.

Paragonando fra loro le Fig. 195 e 228, si ritrovano gli stessi circuiti. In entrambi si ha un circuito di antenna (trasmettente o ricevente), un circuito oscillante chiuso, le induttanze d'accoppiamento e un circuito, derivato ai capi del condensatore, nel quale la potenza da trasmettere è immessa, o quella raccolta dall'antenna aziona il ricevitore. La differenza sostanziale fra l'apparato trasmettente della Fig. 195 e quello ricevente della Fig. 228 è che il condensatore ad alta tensione della Fig. 195 è rimpiazzato da un piccolo condensatore variabile ad aria C_2, ed il jigger del primo, a poche spire di grosso conduttore, largamente spaziate, è sostituito da una bobina d'induttanza a molte spire di filo avvolte strettamente insieme.

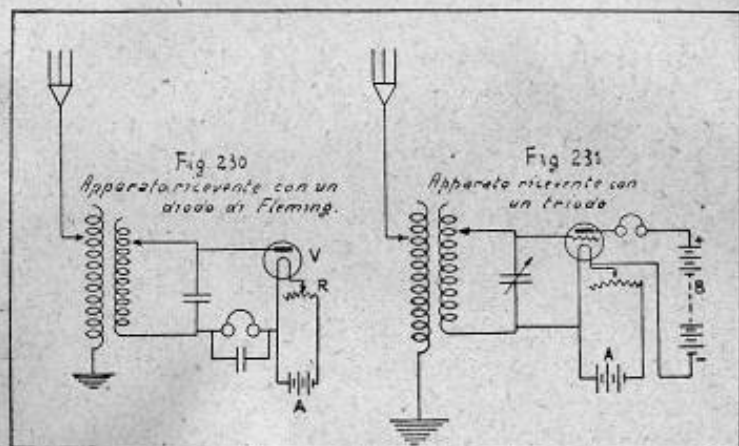
Per sintonizzare il circuito primario ad un'onda più lunga di quella, che compete a tutta l'induttanza L_2, vi si aggiunge in serie un'induttanza L_3, nota col nome di induttanza addizionale (Fig. 229). Pure per aumentare la lunghezza d'onda, e contemporaneamente ottenere una accurata sintonizzazione, si può anche derivare sulle induttanze L_1 ed L_3 il condensatore variabile C_3. Anche nel secondario si può, se necessario, inserire un'induttanza in serie con L_2. Per ricevere onde corte con un'antenna di notevole capacità, si mette in serie col filo di terra il condensatore C_4, che si può cortocircuitare, quando si debbano ricevere onde lunghe.

Nell'apparato, rappresentato dalla Fig. 228, come raddrizzatore è usato un cristallo (par. 179). L'inconveniente principale di questo tipo di raddrizzatore è che si sregola facilmente, e richiede per gli aggiustamenti successivi parecchio tempo. La Fig. 230 rappresenta esattamente lo stesso schema; ma invece di un raddrizzatore a cristallo si ha in esso un diodo di Fleming, V. Esso consiste in un bulbo di vetro, entro il quale è stato fatto il vuoto, contenente due elettrodi: uno dei quali è il filamento, che è portato all'incandescenza dalla corrente fornita dalla batteria A, l'altro è una lamina metallica (anodo). Il filamento incandescente emette una corrente di elettroni (par. 184

verso la lamina. Della corrente oscillatoria, prodotta nell'antenna dalle onde elettriche in arrivo, solo le semionde positive possono superare l'intervallo fra il filamento e la lamina, mentre le semionde negative non possono passare: la corrente cioè circola solo in senso opposto al movimento degli elettroni. Il diodo agisce così come un raddrizzatore: esso è molto stabile ed ha una sensibilità paragonabile a quella di un buon cristallo.

La Fig. 231 riproduce un apparato ricevente dotato di un triodo, tubo a vuoto, che rappresenta, rispetto al precedente, un notevole miglioramento, consistente nell'uso di tre elettrodi in-

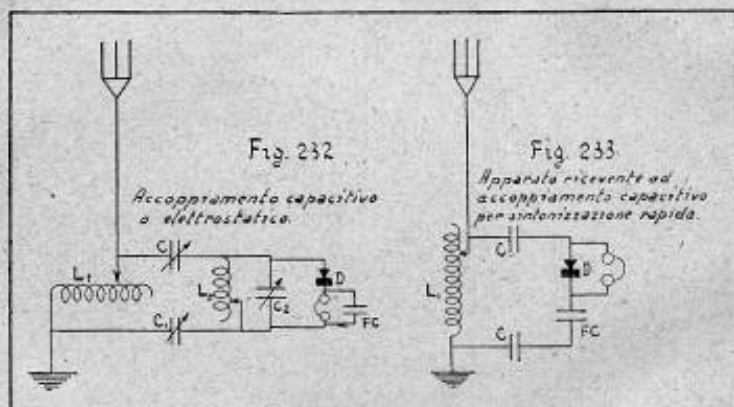
Fig. 230 Apparato ricevente con un diodo di Fleming.

Fig. 231 Apparato ricevente con un triodo

vece di due. I circuiti del filamento e dell'elettrodo più vicino a questo sono esattamente gli stessi che in Fig. 230. Però il telefono è inserito in un circuito contenente la batteria di accumulatori *B*, e con questo mezzo l'intensità dei segnali ricevuti è maggiore che con lo schema precedente. (Per la teoria del funzionamento del triodo come raddrizzatore, vedi cap. seguente par. 191).

Ricevitore ad accoppiamento capacitivo. — La Fig. 232 rappresenta uno schema di accoppiamento del circuito d'antenna, che permette di ridurre le dimensioni dell'apparato ricevente. Le

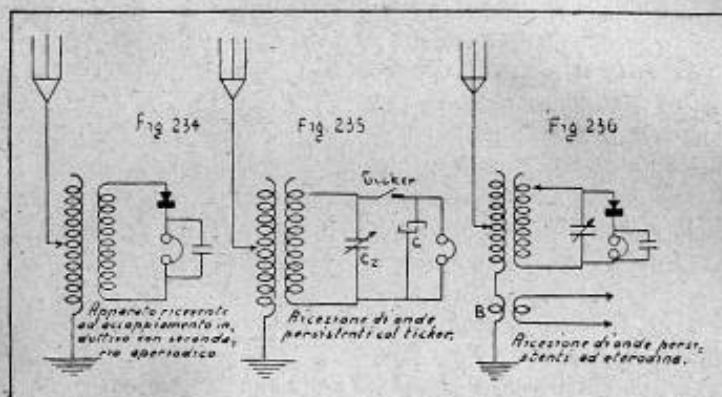
due bobine primaria e secondaria L_1 ed L_2 sono fissate ad angolo retto fra loro, in modo da evitare qualunque effetto induttivo fra di esse. L'accoppiamento fra l'antenna e il circuito ricevente è invece assicurato dai condensatori CC_1, collegati meccanicamente insieme, in modo da poter essere regolati mediante la manovra di un unico volantino, realizzando il cosidetto « accoppiamento elettrostatico » o « accoppiamento di capacità ». Uno dei due condensatori, e precisamente quello collegato alla terra, C_1, può anche mancare; ma generalmente si ottengono con due condensatori risultati più soddisfacenti. I vantaggi dell'accop-

Fig. 232 Accoppiamento capacitivo o elettrostatico.

Fig. 233 Apparato ricevente ad accoppiamento capacitivo per sintonizzazione rapida.

piamento di capacità sono i seguenti: (1) Le bobine d'induttanza possono avere una struttura più compatta, ed assumono la forma di spirali anulari, avvolte sopra una sagoma a sezione rettangolare o quadrata, così da concentrare una induttanza notevole in uno spazio limitato. Di conseguenza gli apparati riceventi ad accoppiamento di capacità sono assai meno ingombranti di quelli ad accoppiamento induttivo variabile, nei quali uno degli avvolgimenti deve potersi spostare rispetto all'altro, o per rotazione o per scorrimento assiale. (2) Le bobine sono fisse, mentre negli apparecchi riceventi ad accoppiamento induttivo una delle due deve potersi spostare di parecchi centimetri rispetto al-

l'altra, per realizzare un accoppiamento lasco. (3) L'accoppiamento si varia in modo semplice e rapido.

Apparati riceventi a rapida sintonizzazione. — Quando il requisito principale di un ricevitore deve essere l'attitudine ad essere rapidamente sintonizzato per le onde in arrivo, e si desidera che le operazioni relative siano ridotte al minimo, anche rinunziando a conseguire un elevato grado di selettività, si ricorre ad uno dei metodi seguenti.

La Fig. 233 rappresenta una variante dello schema indicato in Fig. 232; in pratica il passaggio dall'uno all'altro schema si

effettua colla semplice manovra di un commutatore. Si esclude il secondario, ed il telefono si deriva ai capi del raddrizzatore invece che sul condensatore di capacità invariabile *FC*. Adottando un valore medio di accoppiamento, non occorre di solito variarne la regolazione: perciò le operazioni necessarie per sintonizzare l'apparecchio si riducono alla regolazione della sola induttanza L_1.

Un altro dispositivo per conseguire una rapida sintonizzazione è indicato dalla Fig. 234, che rappresenta uno schema di apparato ricevente ad accoppiamento induttivo. Il primario si può sintonizzare con grande esattezza per le onde in arrivo, mentre il secondario non è regolabile, e praticamente oscilla in corri-

spondenza di un'ampia zona di lunghezze d'onda, tenuto conto dell'alta resistenza del raddrizzatore. La sola regolazione da eseguire è quindi quella dell'induttanza primaria. Talvolta si aggiunge a questa la regolazione dell'accoppiamento fra l'induttanza primaria e secondaria, realizzando così variazioni dell'acutezza della sintonia e della intensità dei segnali.

Dispositivi di attenzione. — Si dicono anche circuiti d'intercettazione. Quando si debba stare in ascolto per le eventuali chiamate di parecchie stazioni, che trasmettono con lunghezze d'onda differenti, conviene disporre di apparecchi sensibili ad un'ampia zona di lunghezze d'onda. Gli schemi della Fig. 233 e 234 potrebbero solo in limitata misura soddisfare a questo requisito con un accoppiamento stretto. Probabilmente l'apparato ricevente, che meglio si presta all'uopo, è quello a « plain aerial » già descritto e rappresentato in Fig. 224 o 225. È però troppo poco selettivo, per essere efficiente, quando parecchie stazioni trasmettono contemporaneamente.

Un dispositivo d'attenzione veramente buono è invece l'ordinario ricevitore ad accoppiamento induttivo della Fig. 228, quando si usi un accoppiamento molto stretto: in questa condizione il decremento è elevato, e la sintonia estesa. Volendo, si può ricorrere ad un commutatore per includere o escludere dal circuito d'antenna l'apparato ricevente.

178. Circuiti per la ricezione delle onde persistenti. — Mentre le onde smorzate vengono trasmesse a gruppi o treni staccati, le onde persistenti non sono in generale divise in gruppi. Anche se raddrizzate, esse non possono essere rivelate da un telefono ricevitore: perchè il diaframma del telefono e l'orecchio non possono rispondere a frequenze di ordine così elevato, come sono quelle delle oscillazioni radiotelegrafiche. È quindi necessario suddividere le onde persistenti, emesse durante le trasmissione di un punto o di una linea, in molti gruppi, interrompendo rapidamente la corrente. Conviene in pratica che le interruzioni siano assai numerose, p. es. 1000 al secondo; in tal modo, per tutta la durata del segnale, si sente al telefono un suono di una nota acuta corrispondente a 1000 vibrazioni

al secondo. Le interruzioni si possono effettuare o alla stazione trasmettente o a quella ricevente. Un metodo, per interrompere rapidamente la corrente d'aereo nella stazione trasmettente, consiste nell'inserire nella coda d'aereo una chiave o un interruttore a funzionamento rapido; se poi non si vuole interrompere la corrente, si può colla chiave mettere in corto circuito qualcuna delle spire dell'induttanza di aereo, così da mettere periodicamente l'antenna fuori risonanza. In tal modo le onde restano divise in gruppi, che possono azionare il telefono ricevitore. Un metodo molto più conveniente è quello di effettuare le interruzioni alla stazione ricevente, perchè in questa ipotesi l'operatore, ch'è in ascolto, può regolare la nota dei segnali ricevuti. Vi sono ben cinque sistemi, atti a modificare nella stazione ricevente le onde continue in modo da renderle percettibili al telefono: (1) un interruttore in serie col raddrizzatore e col telefono; (2) un condensatore variabile, avente un'armatura dotata di rapido movimento di rotazione; (3) un « tikker » usato invece del raddrizzatore; (4) un'« eterodina » in un circuito a parte; (5) un'« autodina » o triodo raddrizzatore, che funzioni anche da eterodina. Di quest'ultimo metodo si tratterà nel par. 201.

Interruttore della corrente oscillante. — Può essere un dispositivo qualunque atto ad interrompere rapidamente la corrente: si inserisce nel circuito del raddrizzatore e del telefono, e può assumere le seguenti forme. Può essere un disco ruotante munito di denti, sui quali scorra un contatto fisso, o un interruttore comandato da un diapason azionato elettricamente, o infine un rapido vibratore, del tipo in uso pei campanelli elettrici.

Condensatore ad armatura rotante. — Se si imprime un rapido movimento di rotazione alle piastre mobili del condensatore di sintonia C_2 della Fig. 228, l'apparato sarà in sintonia una volta sola per ciascuna rotazione; ad ogni rotazione si avrà quindi un impulso al diaframma del telefono. La velocità di rotazione delle piastre si può regolare in modo che la nota ricevuta al telefono sia quella desiderata. In pratica conviene mantenere fissa la maggior parte della capacità del condensatore C_2 e variare soltanto una piccola parte di essa. Ad ogni giro delle piastre

mobili del condensatore C_2 si avrebbe infatti un suono, soltanto in corrispondenza di un piccolo settore, comprendente la regolazione di risonanza. Per avere in ogni giro un treno d'impulsi più prolungato, conviene tenere il condensatore nella condizione di risonanza per una durata di tempo maggiore. Ciò si ottiene, tenendo fisse le due armature di C_2, in una posizione prossima alla regolazione di risonanza, e mettendo in parallelo con C_2 un condensatore, di capacità piccola rispetto a C_2, di cui una delle due armature sia dotata di movimento di rotazione. La capacità del condensatore C_2 va scelta in modo, che quando ad essa si sommi la capacità massima del condensatore ad armatura rotante, sia realizzata la condizione di sintonia. Anche quando le due armature del condensatore aggiunto sono alla distanza massima, non si è tuttavia lontani da tale condizione, per modo che i segnali agiscono sul ricevitore per buona parte della durata di ciascuna rotazione.

Tikker. — Il tikker (Fig. 235) consiste generalmente in un sottile filo di acciaio o d'oro, avente un'estremità fissa e l'altra scorrevole sulla periferia di una ruota liscia di bronzo, animata da un movimento di rotazione. È quindi un dispositivo a contatto scorrevole. Il filo non può mantenersi a perfetto contatto colla ruota, ma per effetto delle leggere irregolarità della superficie di essa, chiude ed apre il circuito. Supponiamo che, a contatto aperto, l'induttanza secondaria ed il condensatore C_2 siano sintonizzati per le onde in arrivo, e che quando C_2 ha accumulato una certa carica, il contatto si stabilisca. Di questa carica una parte passerà in C, e contemporaneamente le oscillazioni del circuito oscillante chiuso cesseranno, perchè l'aggiunta del condensatore C mette l'apparato fuori di sintonia. Quando il tikker riapre il contatto, il condensatore C si scarica attraverso al telefono, e nel frattempo il secondario ricomincia a oscillare, pronto a dare a C una nuova carica, quando il contatto si richiude. In tal modo la frequenza degli impulsi di corrente nel telefono è quella del tikker, e si può regolare, agendo sulla velocità della ruota. Un valore opportuno di capacità pel condensatore C è intorno a 1 μF. Questo

metodo non richiede alcun raddrizzatore a parte. La nota che si ottiene non è musicale, poichè la carica di C, nei successivi istanti in cui il contatto è chiuso dal tikker, avviene a tensioni differenti, e anche perchè la successione dei contatti, dipendendo dalle scabrosità della superficie della ruota, non è affatto regolare.

Eterodina. Con questo metodo un generatore locale imprime all'antenna ricevente oscillazioni elettriche persistenti di frequenza poco diversa da quella delle onde in arrivo, per modo che sul telefono ricevitore si ha l'azione combinata dei due sistemi di onde. Nascono così dei battimenti, che hanno una frequenza eguale alla differenza delle due frequenze. Lo schema dei circuiti è indicato in Fig. 236. Una sorgente di onde persistenti o leggermente smorzate A, non indicata in figura, si accoppia induttivamente ad una spira dell'antenna in B. In tal modo l'antenna è eccitata dalle oscillazioni di A e da quelle delle onde in arrivo. Supponiamo che queste abbiano una frequenza di 100.000 p. s., e che le onde generate dall'eterodina A abbiano invece la frequenza di 99.000 p. s. Il suono, che si avrà al telefono, avrà la nota corrispondente a 1000 vibrazioni al secondo, nota perfettamente udibile al telefono. Negli intervalli tra le linee e i punti, nei quali non si hanno onde in arrivo, l'eterodina continua a funzionare da sola a 99.000 periodi, ma non dà luogo nel telefono ad un suono di nota acustica. I segnali quindi si ricevono soltanto durante il tempo in cui si hanno onde radiotelegrafiche in arrivo.

Ricezione da un trasmettitore radiotelefonico. — Quando un apparato radiotelefonico trasmettente funziona con onde persistenti, non è necessario usare nella stazione ricevente alcun sistema, per interrompere la corrente. Le onde trasmesse sono modulate o variate d'intensità dalla parola, e i suoni sono fedelmente riprodotti dagli ordinari ricevitori per onde smorzate.

179. Raddrizzatori a cristallo. — Un tipo assai semplice e conveniente di raddrizzatore si realizza col contatto di due sostanze solide diverse scelte opportunamente. Un gran numero di corpi naturali si prestano a costituire dei buoni raddrizzatori,

che hanno il vantaggio di presentare un ingombro minimo, ma in cambio richiedono frequenti regolazioni, e sono in generale meno sensibili dei triodi. I cristalli raddrizzatori convengono ad esempio negli apparati ricevitori da campo, ai quali si richiede una struttura poco ingombrante ed il requisito di essere portatili. L'uso dei raddrizzatori a cristallo è ora quasi limitato a questo tipo di ricevitori, ed anche nei complessi portatili militari si va ormai diffondendo l'impiego dei raddrizzatori a triodo.

Cristalli. — Fra le combinazioni delle sostanze solide, che si sono utilmente sperimentate come contatti raddrizzatori, possiamo annoverare i contatti silice-acciaio, carbone-acciaio, e tellurio-alluminio. I più importanti raddrizzatori a contatto sono tuttavia quelli costituiti da una punta metallica e da cristalli naturali o artificiali di alcuni minerali, quali la galena, le piriti di ferro, la molibdenite, la bornite, le calcopirite, il carborundum, la silice e la zinchite. I primi tre sono rispettivamente solfuro di piombo, solfuro di ferro, e solfuro di molibdeno. La bornite e la calcopirite sono combinazioni di solfuri di rame e di ferro. Il carborundum è carburo di silicio prodotto al forno elettrico. Anche la silice metallica fusa di uso comune si produce in forni elettrici. La zinchite è l'ossido rosso di zinco, che si trova allo stato naturale.

I cristalli più largamente usati sono: la galena, il carborundum e le piriti di ferro. È più difficile trovare campioni sensibili di piriti di ferro che di galena, ma generalmente i primi conservano la loro sensibilità per un tempo maggiore. I cristalli di pirite, usati come raddrizzatori, si conoscono in commercio col nome di « ferron »: il raddrizzatore noto sotto l'appellativo di « perikon » è costituito da una punta di bornite in contatto con una superficie di zinchite. La Fig. 237 rappresenta un raddrizzatore a contatto di antimonio e silice; gli altri raddrizzatori sono montati pure nella stessa maniera.

Proprietà dei raddrizzatori a cristallo. — Perchè un contatto a cristallo possa funzionare come raddrizzatore di oscillazioni radiotelegrafiche, deve: (1) permettere il passaggio di una corrente più intensa, quando la tensione applicata ai suoi estremi è in un

determinato senso, in confronto di quando la tensione è di senso opposto; (2) la sua conduttività deve variare proporzionalmente al valore della tensione applicata nel senso opportuno. In pratica tutti i raddrizzatori costituiti dal contatto di due sostanze diverse, posseggono queste proprietà, ma in grado vario.

Per trarre partito dalla seconda di esse, conviene disporre una batteria in serie col cristallo, come si spiegherà in appresso. Alcuni cristalli quali la galena, la silice e le piriti di ferro danno risultati pressochè equivalenti, sia che si usino con o senza bat-

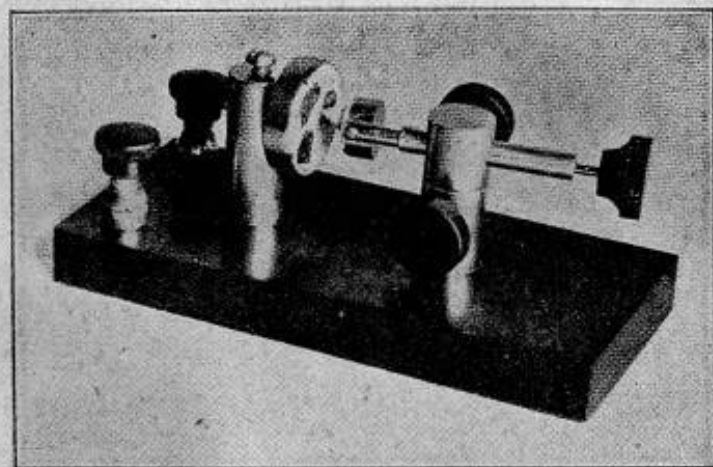



Fig. 237. — Porta cristallo raddrizzatore

teria. D'ordinario si impiegano senza, anche per semplificare l'apparato.

La Fig. 238 rappresenta la curva caratteristica (correnti raddrizzate in funzione delle tensioni) di un contatto di carborundum con un metallo. A parità di tensioni applicate nei due sensi, si hanno correnti intense in corrispondenza di uno, piuttosto che dell'altro senso. La tensione di 10 volt, ad esempio, applicata in un senso dà luogo ad una corrente di 100 microam-

pere: mentre in corrispondenza dello stesso valore di tensione, applicata in senso opposto, la corrente è solo di 1 microampere. In questo consiste la «conduttività unilaterale» o «potere raddrizzante» dei cristalli. Per quanto poi riguarda la seconda delle proprietà sopra enunciate, quando la tensione è nel senso che dà luogo alla corrente più intensa, la conduttività (rapporto della corrente alla tensione) cresce coll'aumentare della tensione,

Fig. 238 Caratteristica di un raddrizzatore a carborundum.

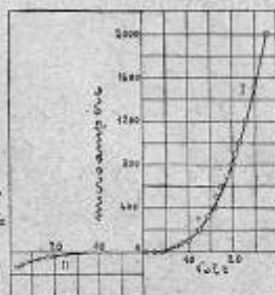
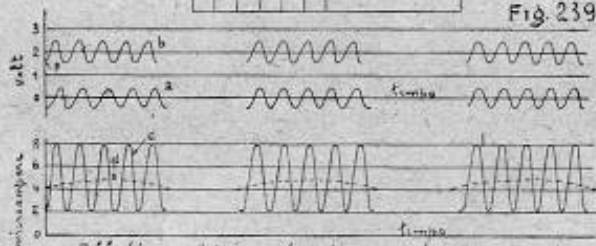



Fig. 239 Effetto raddrizzante di un carborundum usato con potenziometro.

come risulta dal tratto di curva a destra della figura. La curva caratteristica di un ordinario conduttore metallico sarebbe una linea retta.

Batteria survoltrice. — Per trarre vantaggio dalla seconda proprietà, vale a dire dalla curvatura della caratteristica, si inserisce in serie col cristallo una batteria locale o «batteria survoltrice». Mediante la batteria si può far funzionare il cristallo alla tensione, corrispondente al punto di maggior curvatura della curva,

di modo che per un leggero aumento di tensione, si otterrà un aumento di corrente notevole, mentre per una eguale diminuzione della tensione si avrà una diminuzione della corrente relativamente minore.

Ciò è chiaramente indicato dalla Fig. 239. Supponiamo che la batteria survoltrice in serie col cristallo sia regolata in modo da dare una tensione di 2 volt, e che le onde elettriche in arrivo nel circuito inducano in esso una piccola f. e. m., per esempio di 0,5 volt, che si aggiunge e si sottrae periodicamente a quella fornita dalla batteria. La curva *a* rappresenti le oscillazioni della tensione indotta. La curva della tensione risultante, che agisce sul cristallo, è la *b*, nella quale le variazioni della f. e. m. indotta avvengono intorno al valore medio di 2 volt, che è la tensione fornita dalla batteria. Quando la f. e. m. ha il valore istantaneo di 1,5 volt (punto *p* della curva *b*), il cristallo consente il passaggio di una corrente di 2 microampere, com'è indicato dalla Fig. 239-*c*; per una tensione di 2 volt, la corrente ha il valore di 4 microampere, e la corrente corrispondente alla tensione di 2,5 volt è di 8 microampere. La curva *c* rappresenta l'onda di corrente, che circolerebbe in un circuito privo d'induttanza. Effettivamente la corrente, che passa nel telefono, ha invece l'andamento indicato dalla curva *d*, la cui forma pianeggiante è dovuta all'induttanza del telefono e a quella del circuito. Queste curve si riferiscono al caso di onde in arrivo persistenti. Il valore medio della corrente *d* in ciascun treno d'onda è di poco superiore ai 4 microampere: e negli intervalli fra i treni la corrente ha esattamente il valore di 4 microampere (se la tensione applicata è di 2 volt). Si hanno in tal modo degli impulsi di corrente, che producono nel telefono un suono, la cui nota dipende dal numero dei treni d'onda ricevuti al secondo. I treni possono essere di onde smorzate o continue, interrotte da un tikker.

180. **Ricevitori telefonici.** — Gli elementi caratteristici dei ricevitori telefonici, usati in radiotelegrafia, sono la leggerezza delle parti mobili e la presenza di numerose spire di filo sui poli magnetici. La leggerezza delle parti mobili li rende atti a se-

guire le rapide pulsazioni della corrente. Il gran numero di spire di filo consente di realizzare con una corrente debole un campo magnetico relativamente intenso. Verificandosi queste due condizioni, il telefono diviene un dispositivo ricevente assai sensibile. La sezione del filo usato negli avvolgimenti dei poli è presso a poco la stessa in tutti i telefoni per radiotelegrafia, che si trovano in commercio; la sua lunghezza, e quindi il numero delle spire, ordinariamente si determina per via indiretta in base alla resistenza, che si vuole realizzare negli avvolgimenti. I ricevitori telefonici per radiotelegrafia di buona sensibilità hanno 1000 ohm di resistenza in ciascun telefono; mentre nei migliori si giunge anche a 1500 o 2000 ohm.

Il tipo più comune di ricevitore telefonico, detto a diaframma magnetico, è costituito da un magnete permanente a forma di *U* coi poli di ferro dolce, e da un sottile diaframma di ferro dolce assai vicino ai poli, che vibra per effetto delle rapide variazioni di attrazione, producendo dei suoni di frequenza pari a quella delle pulsazioni di corrente (par. 60). L'unico altro tipo di ricevitore telefonico, che importi conoscere, è quello detto a diaframma di mica. Esso ha un diaframma di mica, che occupa nel ricevitore lo stesso posto del diaframma metallico del tipo precedente, ma che naturalmente non è azionato direttamente dai magneti. Fra i due poli magnetici si ha una piccola armatura di ferro dolce, sistemata nell'interno di un avvolgimento solenoidale, la quale si muove in corrispondenza alle variazioni di magnetizzazione, che in essa si producono, quando si hanno nell'avvolgimento delle pulsazioni di corrente, e che, mediante una connessione rigida, trasmette il suo movimento al diaframma di mica. In questo tipo di ricevitore avviene l'opposto di quanto si ha in un ordinario telefono magnetico, in cui il diaframma è sempre attratto dai poli magnetici. Non avendosi invece, sull'armatura di ferro dolce, alcuna azione attrattiva negli intervalli fra i gruppi d'onde le sue vibrazioni, per effetto dei segnali in arrivo. sono assai più ampie. Tali vibrazioni (non contrastate, al contrario di quelle degli ordinari telefoni magnetici) sono poi comunicate al diaframma di mica, che agisce sull'orecchio.

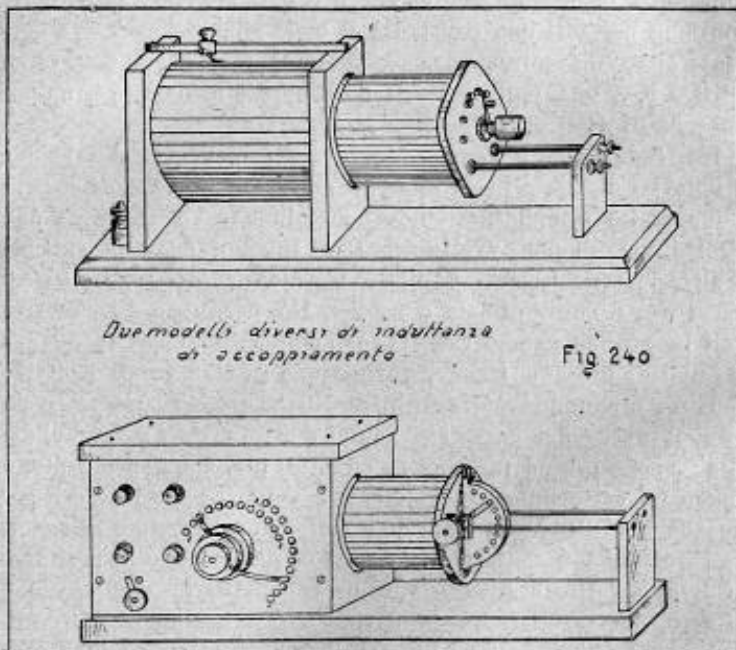
Impedenza. — L'impedenza alla corrente alternata di un ricevitore telefonico aumenta rapidamente colla frequenza, ed alle frequenze radiotelegrafiche è così elevata da non permettere in pratica il passaggio della corrente. Inserendo però in serie col telefono un raddrizzatore, la frequenza delle pulsazioni, di cui la corrente telefonica è costituita, varia fra le 500 e le 1200 pulsazioni al secondo, frequenza alla quale il telefono presenta una impedenza moderata. Un ricevitore telefonico, che alla corrente continua presenti una resistenza di 2000 ohm, offre ad una corrente alternata di frequenza 400 p. s. un'impedenza di 2900 ohm: ad 800 p. s. una impedenza di 3900 ohm e a 1000 p. s. un'impedenza di 4400 ohm.

181. **Induttanze e condensatori di ricezione.** — Le bobine d'induttanza, usate negli apparati di ricezione, sono di costruzione molto semplice, essendo generalmente costituite da uno strato unico di filo avvolto sopra un tubo di bakelite, cartone o altre materie isolanti. Il filo è d'ordinario intrecciato e ricoperto con isolante di seta o cotone. Un cursore o due, scorrevoli lungo una generatrice del tubo cilindrico, in corrispondenza a tratti di filo non isolato, permettono di stabilire il contatto con una qualunque spira di filo. Negli ordinari ricevitori da campo invece dei cursori si hanno due inseritori a tacche, dei quali uno serve ad inserire in circuito una spira per volta, e l'altro un certo numero di spire per volta, ad es. 10. Così per una bobina d'induttanza di 100 spire, uno dei due inseritori potrà essere a 9 contatti di 10 spire ciascuno, oltre la posizione di zero, e l'altro costituito pure da 9 contatti, oltre la posizione di zero, per inserire fra le decine anche le singole spire. Si può in tal guisa inserire in circuito un numero qualunque di spire compreso fra 0 e 100. Se la bobina ha 400 spire, uno dei due inseritori dovrà avere 20 contatti compreso lo zero, di 20 spire ciascuno, e l'inseritore delle unità dovrà pure avere 20 contatti per diciannove spire unitarie e per lo zero.

La Fig. 240 rappresenta due diversi tipi di induttanza di accoppiamento per apparati riceventi. Nel primo di essi la regolazione del primario si esegue con un cursore mobile; la rego-

lazione del secondario si fa con un inseritore a contatti per gruppi di 30 a 40 spire. La sintonizzazione del secondario si affina poi con un condensatore variabile. L'accoppiamento fra le due bobine si allasca, estraendo il secondario dal primario. Nell'altro tipo entrambi gli avvolgimenti si regolano mediante inseritori. Le induttanze d'antenna non sono che delle bobine piuttosto voluminose, le quali servono ad accrescere l'induttanza dell'aereo,

Due modelli diversi di induttanza di accoppiamento

Fig. 240

quando quella di accoppiamento non è sufficiente per la lunghezza d'onda in arrivo. Le ordinarie induttanze d'aereo e quelle di accoppiamento sono generalmente ad un unico strato di spire; sono alte da 12 a 20 cm ed hanno da 8 a 12 cm di diametro, mentre le induttanze d'aereo per onde lunghe hanno talvolta un'altezza di 50 cm o più. L'induttanza delle prime oscilla fra 1000 e 5000 microhenry, mentre quella delle seconde si aggira

sui 50 millihenry. L'induttanza di una bobina di qualunque forma si calcola in base alle relazioni riportate nel par. 170.

La Fig. 241 rappresenta un tipo di condensatore variabile ad aria di impiego quasi generale. La sua capacità massima è intorno a 0,0005 μF, regolabile fino ad un minimo, assai prossimo allo zero. Un gruppo di piastre metalliche semicircolari ruota fra un gruppo corrispondente di piastre fisse, e fra due

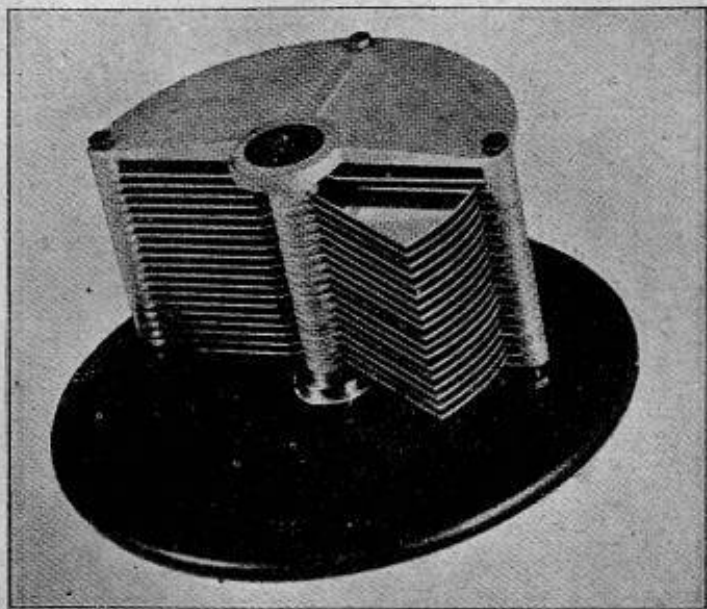



Fig. 241. — Condensatore variabile ad aria.

piastre adiacenti, di polarità opposta, si hanno degli strati alternati di aria, che funziona da dielettrico. La sintonizzazione degli apparati ricevitori a triodi si fa quasi esclusivamente con condensatori variabili. Nella ricezione di onde persistenti, la sintonizzazione del circuito d'antenna, ottenuta mediante variazione del numero di spire della bobina d'induttanza in serie coll'an-

tenna, riesce spesso poco acuta; in tal caso, per affinare la sintonia, basta derivare sulla bobina un condensatore variabile.

La Fig. 242 rappresenta un apparato ricevente portatile: si vedono in figura gli inseritori d'induttanza a tacche, i conden-

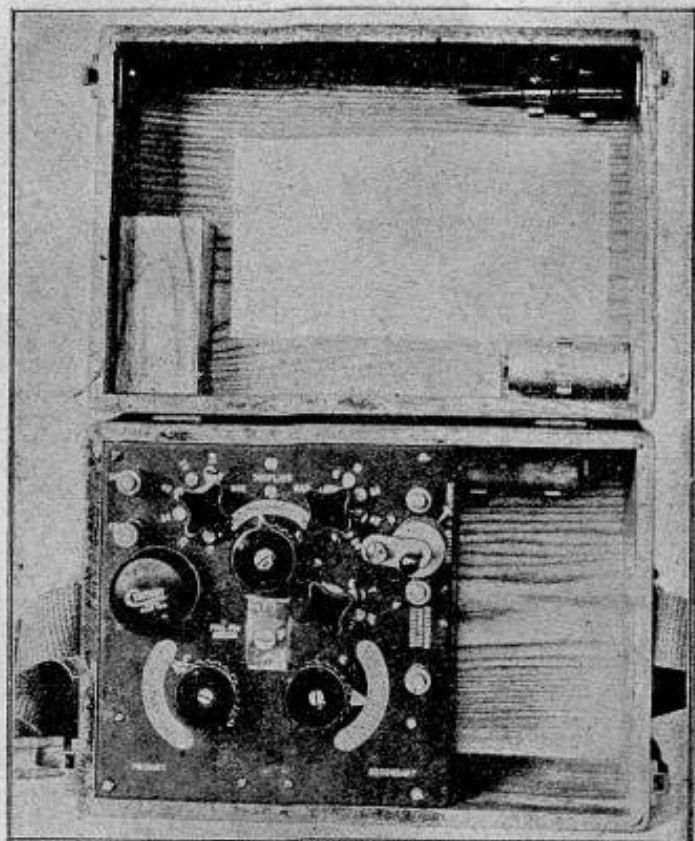



Fig. 242. — Apparato ricevente portatile.

satori variabili, ed un volantino per variare l'accoppiamento fra primario e secondario.

182. **Misura della corrente di ricezione.** — Mediante un raddrizzatore a cristallo ed un galvanometro è possibile misurare la corrente ricevuta da un apparato radiotelegrafico ricevente. Questa misura è molto delicata. Il metodo, che ordinariamente si impiega, è quello del telefono shuntato. Si pone in parallelo col telefono una resistenza, che si riduce gradualmente fino a raggiungere nel telefono il limite di udibilità, fino cioè a indebolire talmente i suoni nel telefono da potere appena distinguere i punti e le linee. Se t è l'impedenza del telefono alla frequenza degli impulsi di corrente, che lo attraversano, s l'impedenza dello shunt, I_1 la corrente minima, che dà nel telefono un suono ancora percettibile, ed I la corrente totale, che passa nel complesso telefono-shunt, sarà

$$\frac{I}{I_1}=\frac{s+t}{s}$$

Il rapporto di $s+t$ a s dicesi « udibilità ». Tarando convenientemente l'apparecchio, esso può addirittura esprimersi in unità di corrente. In generale questo metodo è impiegato per fare solo grossolane misure comparative, poichè i resultati dipendono dalla maggiore o minore sensibilità dell'orecchio di chi opera.

Alla ricezione di correnti dell'ordine di 0,0001 ampere si presta un complesso raddrizzatore a cristallo, telefono; per correnti di 0,000001 ampere è preferibile un ordinario triodo con un telefono; per correnti dell'ordine di 0,00000001 ampere, si ricorre ad un triodo amplificatore-rigeneratore e ad un telefono.

CAPITOLO 6.

I TRIODI NELLE TRASMISSIONI RADIOTELEGRAFICHE

183. Introduzione. — L'impiego dei triodi, detti anche tubi a vuoto o valvole joniche, ha fatto compiere alle trasmissioni radiotelegrafiche notevoli progressi. I triodi si usano attualmente nella maggior parte degli apparati radiotelegrafici, per una molteplice varietà di scopi; essi si prestano a generare, amplificare, modulare e rivelare le oscillazioni radiotelegrafiche. Le loro applicazioni si sono rapidamente diffuse, ed il loro ulteriore sviluppo è largo di grandi promesse. Una prima considerazione, assai importante nei riguardi militari, è che i triodi hanno reso possibile l'adozione di apparati r. t. trasmettenti facilmente trasportabili. I principi sui quali si basa l'impiego ed il funzionamento dei triodi nelle loro più svariate applicazioni meritano di essere accuratamente studiati.

A. L'emissione elettronica nei triodi.

184. **La corrente in un diodo.** — È noto che le estremità di due conduttori, collegati ai terminali di una batteria di accumulatori, si possono avvicinare quanto si vuole, senza che attraverso ad essi si abbia passaggio di corrente, fino al momento in cui i conduttori si toccano. Questo si verifica del pari anche se le estremità dei due conduttori sono portate nell'interno di un bulbo del tipo di quelli usati nelle lampade ad incandescenza, e anche se dal bulbo si estrae l'aria, facendovi il vuoto. Un fatto assai comune ce ne dà tutti i giorni la prova. Quando in una lampada elettrica il filamento si rompe, la corrente cessa e la luce si spegne. Ma se l'estremità di uno dei due conduttori in questione è riscaldata al calor rosso od oltre, si osserva il fatto interessante che attraverso lo spazio apparente-

mente vuoto, che esiste fra le estremità dei due conduttori, passa una corrente.

Chiamiamo queste estremità « elettrodi ». Fra l'elettrodo caldo e quello freddo si stabilisce, in virtù degli elettroni emessi dall'elettrodo caldo, una corrente sufficientemente intensa per poter essere misurata da strumenti sensibili, ed avere importantissime applicazioni nella radiotelegrafia. Si potrà a prima vista dubitare della possibilità di riscaldare uno solo dei due elettrodi, nell'interno di un bulbo. Ma ciò si realizza facilmente, foggiando l'elettrodo da riscaldare a forma di spirale e collegandone i capi, attraverso la base del bulbo, ai terminali di una batteria di poche pile; la corrente fornita da queste riscalda la spirale, così come riscalderebbe il filamento di una comune lampada ad incandescenza. In tal guisa uno dei due elettrodi assume l'aspetto di un filamento incandescente: l'altro elettrodo può essere costituito da una piccola lamina di metallo. Un bulbo, contenente un elettrodo caldo ed uno freddo, ha ricevuto il nome di « diodo » o « valvola a due elettrodi ».

Il funzionamento di un diodo si basa sul fatto che, quando un metallo è riscaldato nel vuoto, emette nello spazio circostante degli elettroni (par. 6). Poichè gli elettroni hanno una carica negativa, il metallo resta caricato positivamente; di conseguenza solo un piccolo numero di essi può allontanarsi dal metallo, perchè questo li attira indietro: e viene a determinarsi così quasi una condizione di equilibrio fra gli elettroni, che si allontanano e quelli, che ritornano sul filamento. Supponiamo ora che i due elettrodi, filamento e placca o anodo, siano collegati ai terminali di una batteria di accumulatori (indicata in Fig. 243 colla lettera *B*), per modo che il potenziale della lamina sia positivo rispetto a quello del filamento. Gli elettroni, che sono cariche negative di elettricità, vengono attratti dalla lamina *P*, trattenuti da essa e non possono più tornare al filamento *F*. La batteria determina così con continuità un passaggio di elettroni (elettricità negativa) dal filamento alla lamina: nello spazio compreso fra i due elettrodi circola dunque una corrente elettrica.

Se il filamento si raffredda, la corrente cessa, perchè il metallo non emette più elettroni. Se si invertono le connessioni dei due elettrodi coi terminali della batteria, non si ha passaggio di corrente, poichè, quando la lamina è negativa rispetto al filamento, gli elettroni sono ricacciati sul filamento dalle cariche negative della lamina.

Conviene richiamare l'attenzione del lettore sulla differenza, che esiste fra senso della corrente e senso del flusso elettronico. Si è per lo passato arbitrariamente definito come senso della corrente quello dal terminale positivo al terminale negativo. Invece gli elettroni viaggiano dall'elettrodo negativo verso l'elettrodo positivo. Perciò il senso della corrente e quello del moto degli elettroni sono opposti.

Ionizzazione. — Questa spiegazione del fenomeno, per cui in un diodo fra il filamento e l'anodo circola una corrente (comunnemente detta «corrente anodica»), si riferisce al caso, in cui nel bulbo il vuoto sia stato spinto ad un grado elevatissimo. Se nel diodo si hanno tracce sensibili di gas, il suo funzionamento diviene più complesso, e in generale, a pari tensione applicata, la corrente, che passa, è più intensa. La ragione di questo diverso comportamento del diodo sono le seguenti.

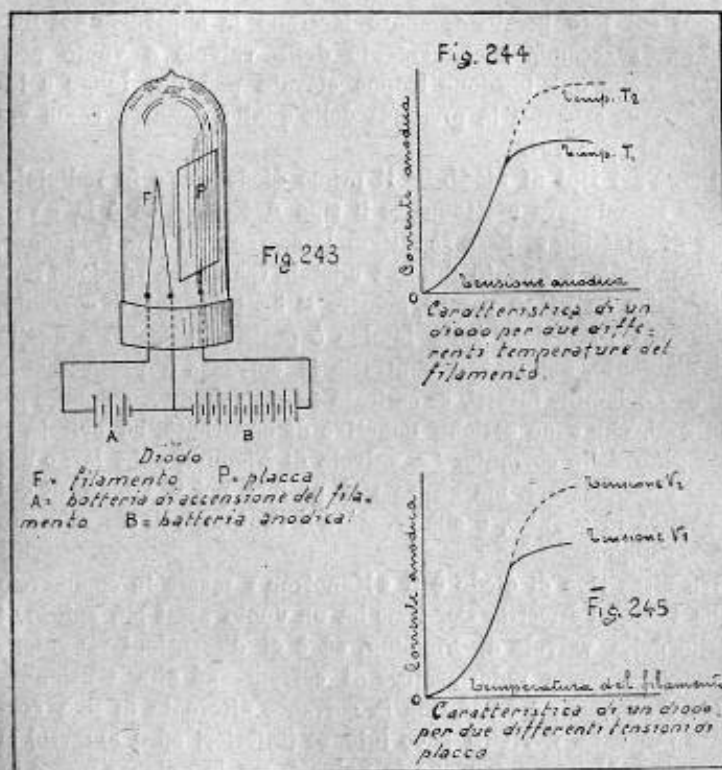
In un gas rarefatto alcuni degli elettroni presenti sono parti costitutive degli atomi, ed altri sono liberi. Gli elettroni liberi si muovono intorno agli atomi con grande velocità, e, se uno di essi colpisce un atomo, può liberare da questo un altro elettrone. Sotto l'azione della f. e. m, esistente fra la lamina ed il filamento, l'elettrone, che si è liberato, acquista velocità nella direzione, che aveva l'elettrone, che ha urtato l'atomo; la carica positiva, rimasta in questo, si muove invece in direzione opposta. Così tutte e due le parti dell'atomo distrutto diventano veicoli di elettricità, e contribuiscono al passaggio della corrente attraverso il gas. Il fatto per cui un atomo è scisso nelle sue parti da un elettrone, che lo investe, dicesi «ionizzazione per urto»; in virtù sua, nelle valvole aventi un cattivo vuoto si realizzano correnti anodiche relativamente intense. Le prime valvole, note col nome di «audion» erano di questo tipo; ma le

valvole moderne hanno normalmente un vuoto assai migliore, cosicchè l'ionizzazione per urto entra soltanto in minima parte a determinare il passaggio della corrente.

A prima vista sembrerebbe che l'ionizzazione per urto fosse

Diodo
F = filamento P = placca
A = batteria di accensione del filamento B = batteria anodica

Caratteristica di un diodo per due differenti temperature del filamento.

Caratteristica di un diodo per due differenti tensioni di placca

un vantaggio, perchè dà luogo ad una corrente anodica più intensa: ma intervengono due inconvenienti d'indole così grave che nelle valvole moderne si cerca di realizzare soltanto l'emissione termojonica pura. Il primo di questi inconvenienti consiste in un rapido deterioramento del filamento, che si verifica, quando

la corrente anodica è intensa. Le particelle degli atomi caricate positivamente urtano con violenza contro il filamento, che è carico di elettricità negativa, e poichè esse hanno una massa molto maggiore di quella degli elettroni, (un ione di ossigeno o azoto ha una massa circa 25.000 volte maggiore di quella di un elettrone) col loro bombardamento lacerano la superficie del filamento. Il secondo inconveniente delle valvole a vuoto poco spinto è che una tensione troppo elevata può dar luogo a luminescenze azzurre; la presenza delle quali è dannosa, come vedremo nel par. 191.

185. Vari tipi di diodi. — Il primo diodo usato in radiotelegrafia riproduceva esattamente il tipo descritto; ed è la « valvola di Fleming ». Essa raddrizza le correnti ad alta frequenza, analogamente a quanto fanno i cristalli (par. 179). L'azione raddrizzatrice ha luogo perchè, mentre si ha passaggio di corrente, quando il potenziale della lamina è positivo rispetto a quello del filamento, nell'ipotesi contraria la corrente è praticamente nulla. La lamina infatti, se caricata negativamente, respinge gli elettroni, che sono cariche negative di elettricità, ed arresta il passaggio della corrente. La valvola di Fleming ebbe largo uso come raddrizzatore, ma ad essa si preferì poi il triodo, di cui si parlerà in seguito, e che presenta il vantaggio di essere molto più sensibile.

Un altro tipo di diodo è il « Kenotron » messo in commercio dalla General Electric Co. Esso ha un vuoto assai più spinto di quello della valvola di Fleming, ed è di dimensioni maggiori. Si impiega come raddrizzatore di correnti ad alta tensione e bassa frequenza; e trasforma la corrente alternata in una corrente pulsante. Correnti poco intense (inferiori ad 1 ampere) si possono raddrizzare con queste valvole; ma la potenza messa in giuoco può superare parecchi kilowatt, grazie alle tensioni elevate anche oltre i 25,000 volt, a cui queste valvole funzionano.

Un terzo tipo di diodi, che promette di avere per scopi militari utili applicazioni, è il « raddrizzatore tungar ». In questi diodi, che contengono argon rarefatto, si hanno correnti relativamente intense per effetto dell'ionizzazione per urto. Essi si pre-

stano a caricare batterie d'accumulatori con corrente alternata a 110 volt, ed in commercio se ne hanno due tipi: col primo si può caricare una batteria da 3 a 6 elementi, con una corrente da 1 a 2 ampere; col secondo, di dimensioni maggiori, si può caricare una batteria da 3 a 6 elementi con una corrente di 6 ampere.

186. **Il triodo.** — Un grande progresso ha compiuto, per le sue applicazioni in radiotelegrafia, il diodo, mediante l'interposizione fra il filamento e la lamina di un terzo elettrodo a forma di rete metallica, che ha ricevuto il nome di « griglia », mediante il quale riesce possibile far variare entro ampi limiti la corrente, che passa fra il filamento e la lamina. È importante studiare come si pervenga a un tale risultato.

Conviene anzitutto rendersi conto degli effetti, che in un diodo a vuoto spinto producono le variazioni della tensione della batteria B, e quelle della temperatura del filamento.

Effetto delle variazioni di tensione anodica. — Supponiamo dapprima di mantenere costante la temperatura del filamento: avremo di conseguenza da parte del filamento l'emissione di un numero costante di elettroni in un secondo. Dal numero di elettroni, che in un secondo partono dal filamento e raggiungono la lamina, dipende l'intensità della corrente nel circuito anodico. Il numero degli elettroni, che giungono alla lamina, aumenta coll'aumentare della tensione della batteria B. Se facciamo crescere indefinitamente questa tensione, essa raggiungerà in un determinato istante il valore, per il quale tutti gli elettroni emessi dal filamento arrivano alla lamina. Dopo questo istante, non è possibile realizzare correnti ancora più intense: questo valore limite della corrente dicesi « corrente di saturazione ». Questo fatto è illustrato dalla Fig. 244 (curva a tratto pieno), la quale mette in evidenza come, con debole tensione anodica, la corrente fra filamento e lamina, ossia la corrente anodica, è poco intensa; man mano poi che la tensione cresce, la corrente anodica aumenta più rapidamente della tensione fino al punto, in cui la curva si inflette. Da questo punto in poi, in corrispondenza ad

ulteriori aumenti di tensione, non si hanno che piccoli accrescimenti di corrente.

Se ora, per mezzo della batteria di accensione, portiamo il filamento ad una temperatura più elevata, e applichiamo alla lamina la stessa tensione, la curva della corrente anodica coincide colla precedente, fino al punto in cui si inflette: ma poi sale più rapidamente, come indica la linea punteggiata della Fig. 244. Ed infatti il numero degli elettroni emessi dal filamento cresce colla temperatura, prossimamente nel rapporto dei quadrati delle differenze fra le temperature raggiunte e quella corrispondente al color rosso del filamento; e di conseguenza un maggior numero di elettroni raggiunge la lamina. Si realizzano così correnti anodiche più intense, prima di raggiungere la condizione limite, nella quale tutti gli elettroni emessi dal filamento raggiungono l'anodo. Quando infine tutti gli elettroni emessi arrivano sulla lamina, la curva si piega fino a divenire quasi orizzontale.

Effetto della temperatura del filamento. — Supponiamo ora di mantenere costante la tensione V_1 della batteria B_1 e di elevare gradatamente la temperatura del filamento, aumentando la corrente fornita dalla batteria di accensione. Il numero degli elettroni emessi cresce man mano che la temperatura del filamento sale. L'intensità del campo elettrico (par. 33), dovuto alla presenza degli elettroni negativi nello spazio fra il filamento e la lamina, può alla fine eguagliare e neutralizzare quella del campo elettrico, dovuto al potenziale positivo della lamina; cosicchè, nei pressi del filamento, questa non eserciterà sugli elettroni alcuna azione attrattiva. Questo fatto è noto col nome di « effetto delle cariche spaziali ». Non si deve però supporre che gli stessi elettroni permangano indefinitamente fra filamento e lamina: quelli prossimi alla lamina sono man mano assorbiti da essa; ma i nuovi elettroni emessi dal filamento prendono il loro posto, cosicchè il numero totale di elettroni fra filamento e lamina è, per una data temperatura, una quantità costante. Quando la temperatura del filamento ha raggiunto il valore, per il quale l'effetto delle cariche spaziali neutralizza l'effetto del potenziale positivo della lamina, un ulteriore aumento della temperatura

del filamento non può dar luogo ad un aumento di corrente. La tendenza del filamento ad emettere un maggior numero di elettroni al secondo, per effetto della temperatura più elevata, è contrastata dal maggior effetto delle cariche spaziali, che si verificherebbe in corrispondenza ad una più rapida emissione di elettroni. Più esattamente, per ogni extra elettrone emesso, un egual numero di quelli esistenti nello spazio sono riassorbiti dal filamento. Se ora aumentiamo la tensione anodica, fino ad un nuovo valore V_2, la curva della corrente anodica prima di flettersi sale per un tratto più ampio, come indica la linea punteggiata della Fig. 245, perchè occorre un effetto delle cariche spaziali più intenso, per compensare l'azione della lamina, che è ad una tensione più elevata.

187. Azione della griglia. — Nei triodi l'elettrodo addizionale o griglia è messo fra il filamento e la lamina, sul percorso della corrente elettronica. Se applichiamo alla griglia una tensione, per mezzo di una terza batteria (indicata con la lettera *C* in Fig. 246) veniamo a modificare l'effetto delle cariche spaziali. Gli elettroni, che viaggiano dal filamento alla lamina, passano attraverso i fili della griglia. Se diamo alla griglia un potenziale più negativo di quello del filamento, essa respingerà gli elettroni; ma alcuni di essi l'attraverseranno egualmente in virtù della loro velocità, e raggiungeranno la lamina. Se applichiamo alla griglia un potenziale ancor più negativo, la corrente anodica diminuirà man mano fino al momento in cui cesserà completamente.

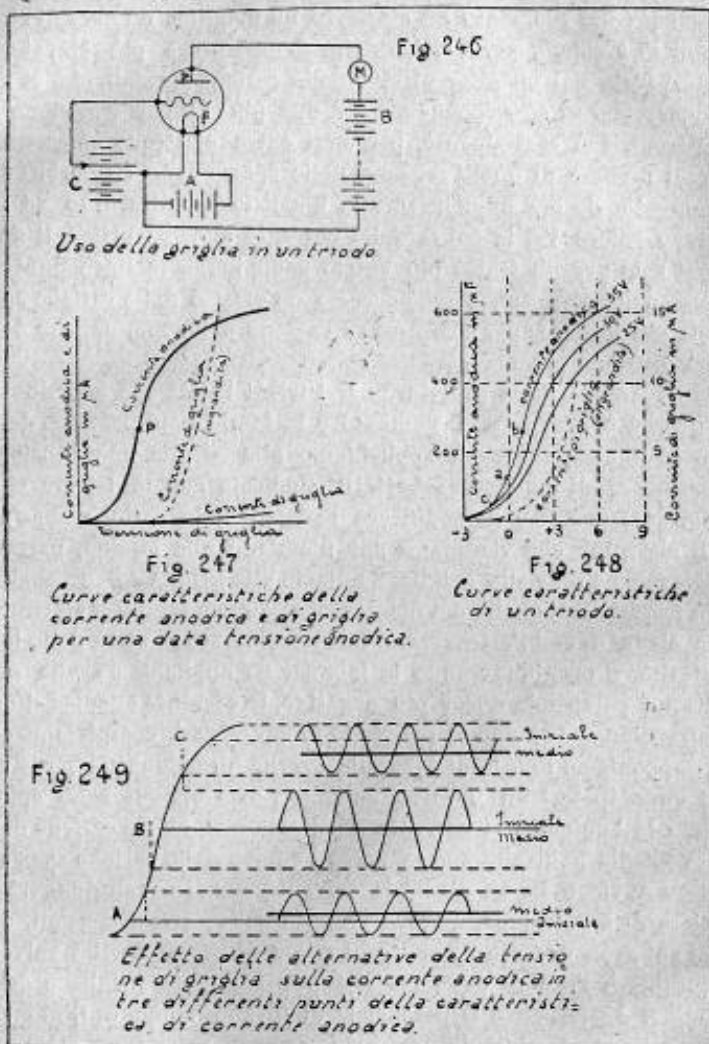
Supponiamo invece di dare alla griglia un potenziale positivo. In quest'ipotesi un numero maggiore di elettroni sono spinti verso la lamina, e la corrente anodica aumenta. Le cariche date alla griglia neutralizzano in parte l'effetto delle cariche spaziali. Come avviene in un diodo, la corrente anodica raggiungerà il valore di saturazione, quando l'effetto delle cariche spaziali, dovuto al gran numero di elettroni negativi presenti nella valvola equilibrerà l'azione delle cariche positive della griglia e della lamina. Accrescendo il potenziale di griglia, aumenta il numero di elettroni assorbiti da essa e la corrente raggiunge più rapidamente il valore di saturazione. L'assorbimento degli elettroni

da parte della griglia dà origine nel circuito di griglia (Fig. 246)

Fig. 246 — Uso della griglia in un triodo

Fig. 247 — Curve caratteristiche della corrente anodica e di griglia per una data tensione anodica.

Fig. 248 — Curve caratteristiche di un triodo.

Fig. 249 — Effetto delle alternative della tensione di griglia sulla corrente anodica in tre differenti punti della caratteristica di corrente anodica.

ad una corrente d'intensità assai modesta, che dicesi « corrente

di griglia ». Il flusso totale di elettroni risulta dalla somma della corrente anodica e di quella di griglia. Man mano che il potenziale positivo della griglia cresce, la griglia assorbe un numero di elettroni sempre maggiore.

188. **Curve caratteristiche.** — I principi suesposti possono essere messi in evidenza da curve sperimentali, che diconsi caratteristiche statiche di un triodo. Una di queste curve illustra graficamente il modo di variare della corrente anodica in funzione della tensione di griglia. Per ricavarla, manteniamo il filamento del triodo (Fig. 246) ad una temperatura costante per mezzo della corrente continua, fornita dalla batteria *A*; applichiamo fra la lamina ed il filamento, valendoci della batteria B, la tensione costante di 35 volt; e diamo alla griglia, per mezzo della batteria *C*, delle tensioni variabili da 0 a 7 volt. Per ogni valore della tensione di griglia, leggiamo al microamperometro *M* la corrente anodica. Riportando in un diagramma i risultati, otteniamo le curve rappresentate dalla Fig. 247, e la curva più elevata della Fig. 248. Man mano che la tensione di griglia cresce da —3 a +7 volt, la corrente anodica cresce, dapprima lentamente, più rapidamente di poi, e infine ancora più lentamente. Prove simili con tensioni anodiche più basse, di 30 e 25 volt rispettivamente, danno risultati analoghi, colla sola variante di correnti anodiche meno intense, come indicano le altre due curve a tratto pieno della Fig. 248.

Un'altra curva importante illustra graficamente il modo di variare della corrente di griglia in funzione della tensione di griglia. Questa curva è anch'essa disegnata nelle Fig. 247 e 248. Riesce subito evidente che la corrente di griglia è molto piccola in paragone di quella anodica. Per rappresentare chiaramente il modo di variare della corrente di griglia in funzione della tensione di griglia, si accresce per la corrente di griglia la scala del disegno; ad esempio in Fig. 248 i valori della corrente di griglia, per una tensione anodica di 30 volt, sono presi in una scala tale, che la stessa distanza verticale rappresenta 200 microampere di corrente anodica e 5 microampere soltanto di corrente di griglia. Si noti che la corrente di griglia è nulla per piccolissime ten-

sioni negative di griglia, ma aumenta rapidamente man mano che la tensione positiva di griglia cresce.

189. **Effetto di una tensione alternata applicata alla griglia.** — Dall'esame delle curve caratteristiche appare evidente che, se si applica alla griglia una tensione alternativa, una tensione cioè alternativamente positiva e negativa, la corrente anodica aumenta e diminuisce periodicamente, seguendo le variazioni della tensione di griglia. Supponiamo che la griglia ed il filamento siano allo stesso potenziale (tensione di griglia nulla in Fig. 246); la curva superiore della Fig. 248 indica che la corrente anodica ha l'intensità di 100 microampere, per una tensione anodica di 35 volt. Se fra griglia e filamento applichiamo una tensione alternativa, il cui valore massimo sia di 1 volt, la corrente anodica varia dal valore dell'ordinata del punto *b* a quella del punto *c*, cioè da 250 a 50 milliampere.

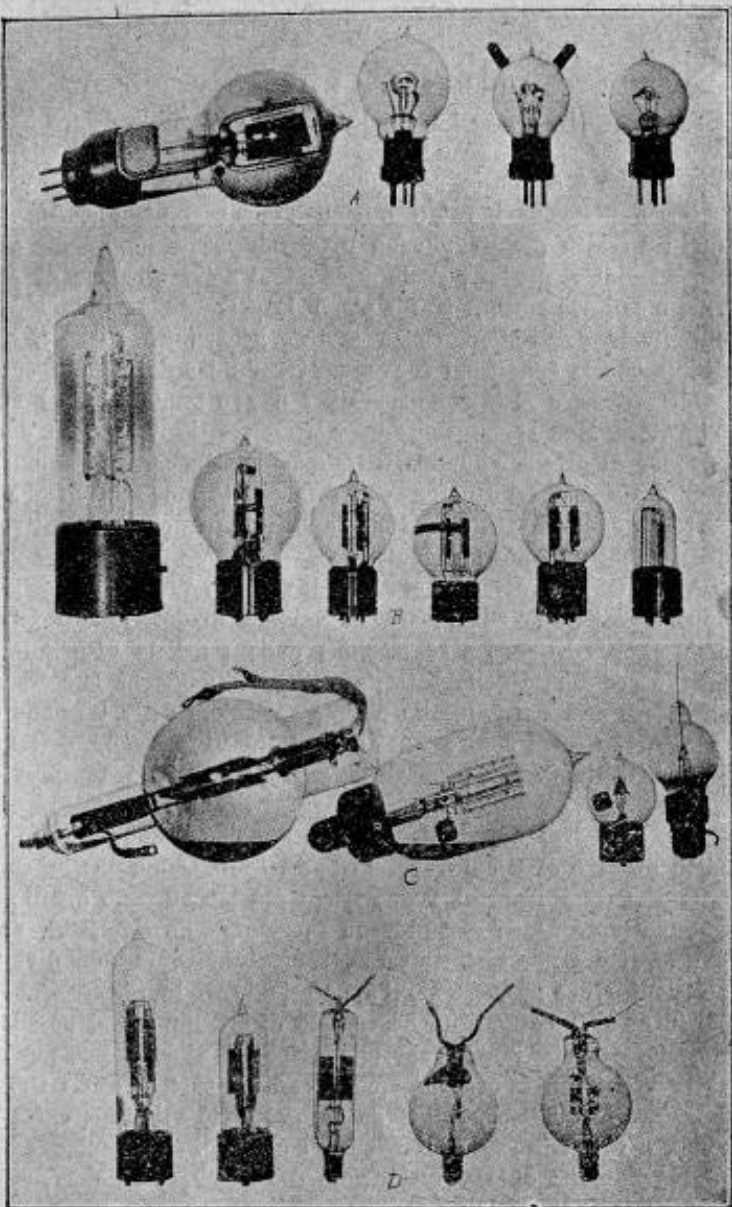
In tal guisa un aumento di 1 volt, nella tensione applicata alla griglia produce nella corrente anodica un aumento di 150 milliampere, (da 100 a 250), mentre un'eguale diminuzione della tensione di griglia produce una riduzione della corrente anodica di soli 50 milliampere. Per tutto il tempo che applichiamo alla griglia una tensione alternativa di frequenza elevata, il valore « medio » della corrente anodica risulta dunque accresciuto. La discussione precedente si riferisce alla condizione che i punti *a*, *b* e *c* siano nel tratto curvo inferiore della caratteristica. Quando la tensione di griglia ha un valore tale che il punto rappresentativo della corrente anodica sulla curva capita nel tratto curvo superiore della caratteristica, l'effetto della tensione oscillante di griglia è sempre quello di far variare la corrente anodica. Ma in questo caso si ha un valore medio di corrente anodica più basso. Se la tensione di griglia è tale che il punto rappresentativo della corrente anodica sulla curva si trova nel tratto rettilineo della caratteristica (per esempio in *P*, Fig. 247), le oscillazioni della tensione di griglia producono delle oscillazioni nella corrente anodica, ma il valore medio di questa rimane invariato.

Questi risultati sono illustrati dalla Fig. 249. Sulla sinistra è rappresentata la caratteristica statica, e nel tratto curvo infe-

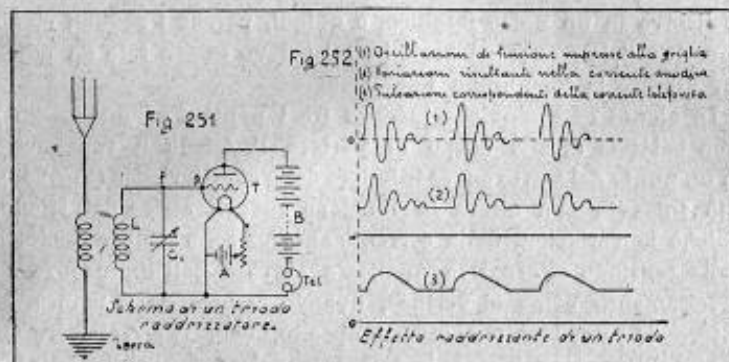
riore, nel tratto rettilineo e nel tratto curvo superiore sono segnati rispettivamente i tre punti *A*, *B* e *C*. Sulla destra è disegnata per ciascun caso la curva della corrente anodica, quando alla griglia è applicata una tensione alternativa. Le linee punteggiate indicano i valori iniziali della corrente anodica. Le curve a tratto pieno indicano invece le oscillazioni della corrente anodica, prodotte dalle oscillazioni della tensione di griglia, e le linee rette a tratto pieno la corrente anodica media durante le oscillazioni. Come si dirà in seguito, i casi *A* e *C* definiscono le condizioni convenienti per l'uso del triodo come raddrizzatore, e *B* la condizione per il suo impiego come amplificatore. Non si ha sensibile ritardo fra le variazioni della tensione di griglia e quelle corrispondenti della corrente anodica; e quindi non si ha differenza di fase fra tensione di griglia e corrente anodica, anche quando la frequenza delle alternative è di parecchi milioni al secondo.

A seconda dei diversi tipi di triodi varia la tensione di griglia opportuna per far funzionare la valvola in determinati punti della caratteristica. La regolazione della tensione di griglia si esegue per mezzo della batteria *C* (Fig. 246). Poichè la corrente anodica è così sensibile alle piccole variazioni della tensione di griglia, si ricorre spesso ad un divisore di tensione derivato sulla batteria C, per affinare la regolazione della tensione di griglia.

190. **Vari tipi di triodi.** — Nella Fig. 250 è rappresentato un certo numero di triodi francesi ed americani. Quelli distinti colla lettera *A* sono francesi. I due triodi più piccoli sono quelli più comunemente usati; essi possono funzionare da rivelatori, amplificatori e generatori. Il terzo, rappresentato in due diverse posizioni, trova impiego negli apparati a breve lunghezza d'onda, ed in esso il costruttore ha cercato di allontanare al possibile i conduttori, che fanno capo alla griglia e alla lamina, per ridurre al minimo la capacità fra di essi. In tutti e due i tipi il filamento è rettilineo, la griglia è una spirale filiforme, che circonda il filamento, e la lamina è un cilindro, che racchiude gli altri due elettrodi. Un certo numero di triodi della Western

A
B
C
D

Electric Company sono rappresentati in *B*; quelli in *C* sono triodi forniti dalla General Electric Co. (noti in commercio col nome di « pliotron »); e quelli della De Forest Radio Telephone and Tetegraph Co. (detti comunemente « audion ») sono raffigurati in *D*. La De Forest Co. costruisce anche triodi di dimensioni maggiori detti « oscillion ». In tutti i triodi americani il filamento è un filo ripiegato una o più volte; la griglia è costituita da una coppia di graticci metallici, uno per ciascun lato del filamento, e la lamina si compone di due piastrine metalliche parallele dai due lati della griglia. I triodi di dimensioni maggiori sono impiegati come generatori di correnti radiotelegrafiche.

Schema di un triodo raddrizzatore.

Effetto raddrizzante di un triodo

B. Triodo raddrizzatore.

191. Schema di un triodo raddrizzatore e suo funzionamento. — Per comprendere come funzioni un triodo raddrizzatore, consideriamo lo schema della Fig. 251. Supponiamo che un segnale arrivi sull'antenna ricevente; il circuito LC_1 comincierà ad oscillare, poichè L è accoppiato induttivamente all'antenna. La tensione alternativa di frequenza radiotelegrafica, che si ha ai terminali di L, agisce fra il filamento e la griglia, e (come fu spiegato nel par. 189) fa variare il valore medio della corrente anodica. Se il triodo funziona in un punto del tratto

curvo inferiore della caratteristica, per esempio tra a e c (Fig. 248), l'aumento di corrente anodica, che si verifica, quando la tensione di griglia è positiva, è maggiore della diminuzione, ch'essa subisce, in corrispondenza di valori negativi della tensione di griglia. Il valore medio della corrente anodica di conseguenza aumenta. La Fig. 252 rappresenta graficamente i valori simultanei (1) delle oscillazioni ad alta frequenza della corrente di griglia, (2) delle corrispondenti variazioni ad alta frequenza della corrente anodica, e (3) delle pulsazioni a frequenza telefonica della corrente nel ricevitore. La frequenza dei treni d'onde in arrivo deve essere dell'ordine delle frequenze telefoniche, preferibilmente fra 300 e 2000; infatti per effetto dell'induttanza posseduta dal telefono ciascun treno d'oscillazioni ad alta frequenza si risolve in un unico impulso, e quindi, perchè i segnali siano percettibili, la frequenza degli impulsi deve essere tale da poter far vibrare la membrana telefonica.

In alcuni casi conviene inserire fra i punti f ed g (Fig. 251) una batteria C, allo scopo di portare il triodo a funzionare in un punto del tratto curvo inferiore della caratteristica (Fig. 248). Ciò tuttavia non altera la funzione raddrizzatrice del triodo, poichè le variazioni della corrente anodica sono sempre prodotte dalla tensione alternativa applicata ai capi dell'induttanza L, precisamente come si verifica, quando la batteria C manca. È interessante notare a questo proposito, che, per realizzare ai capi dell'induttanza e fra le armature del condensatore la massima f. e. m. possibile, in corrispondenza ad un dato segnale, il circuito LC_1 va sintonizzato per la frequenza delle onde in arrivo (par. 109).

Se la tensione della batteria di griglia si regola in modo che il triodo venga a funzionare in un punto del tratto curvo superiore, anzichè di quello inferiore della caratteristica, l'effetto raddrizzante del triodo non varia; però, in corrispondenza all'arrivo di un treno d'onde sull'antenna, il valore medio della corrente anodica è momentaneamente diminuito anzichè accresciuto. Si avranno, come nel caso precedente, delle variazioni nella corrente anodica in corrispondenza alle oscillazioni dei treni

d'onde in arrivo, ed il suono nel telefono avrà la nota corrispondente al numero dei treni d'onde, che in un secondo giungono sull'antenna.

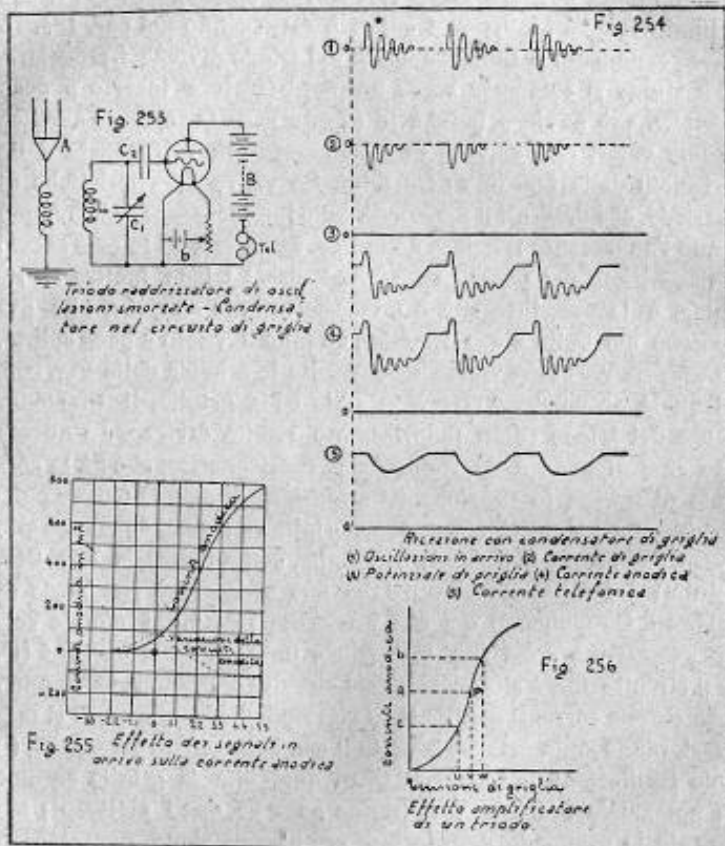
Nell'uso dei triodi come raddrizzatori si deve evitare che la tensione della batteria B sia così elevata da produrre nel triodo le luminescenze azzurre, di cui si è fatto cenno nel par. 184. In queste condizioni il funzionamento del triodo diviene irregolare, ed il triodo si comporta come un raddrizzatore incerto e poco sensibile. Ciò avviene, perchè in questo caso la corrente anodica assume valori così elevati, da non essere più influenzata dalle variazioni della tensione di griglia. Le curve caratteristiche di un triodo, che presenti il fenomeno delle luminescenze azzurre, non hanno l'andamento regolare delle Fig. 247 e 248, ed in esse spesso si riscontrano dei punti di interruzione. Il triodo inoltre si riscalda, e la sua integrità è minacciata dalle scariche, che avvengono nei bulbi a gas rarefatti, quando il vuoto è poco spinto.

Condensatore di griglia. — Se si adotta lo schema della Fig. 253, nel quale un condensatore è in serie colla griglia, il funzionamento del triodo come raddrizzatore risulta diverso. In questo caso esso dipende dalla forma della caratteristica, che dà la corrente di griglia in funzione della tensione di griglia (curva punteggiata della Fig. 248). Quando la griglia ed il filamento sono allo stesso potenziale, la corrente di griglia, come indica la Fig. 248, è nulla: dal filamento alla griglia non si ha cioè passaggio di elettroni. Supponiamo ora che un gruppo di treni d'onde colpisca l'antenna della Fig. 253, com'è indicato dalla Fig. 254 (1). Se il circuito LC_1 è sintonizzato col circuito d'antenna, si avranno in esso delle correnti oscillanti, in corrispondenza alle quali si manifesteranno sulla griglia, tramite il condensatore di arresto C_2, [1] delle oscillazioni di tensione. Ogni qualvolta la griglia assume un potenziale positivo, affluiranno ad essa degli elettroni; ma durante la semionda negativa di ogni oscillazione non si avrà alcuna corrente apprezzabile di griglia, come illustra la curva (2) della Fig. 254. Per ogni treno d'onde in arrivo, la griglia con-

---

[1] Un valore conveniente per la capacità del condensatore C_2 è circa 0,0001 μF

tinuerà così ad acquistare cariche negative, ed il suo potenziale medio si abbasserà come indica la curva (3) della stessa figura. Le cariche negative della griglia si oppongono al passaggio degli elettroni dal filamento alla lamina, producendo nel com-

plesso una riduzione della corrente anodica. Alla fine di ciascun treno d'onde queste cariche si disperdono attraverso alle armature del condensatore o alle pareti del triodo (o in ambedue i modi),

e la corrente anodica riprende il suo valore normale, com'è indicato in (4). Questo dovrebbe accadere prima dell'arrivo del treno d'onde successivo, ma qualche volta la dispersione non è abbastanza rapida, perchè la scarica possa completamente avvenire nell'intervallo fra due treni d'onde. In questo caso si ottengono risultati migliori, se si deriva sul condensatore una resistenza di circa un megahom. Tale resistenza dicesi « resistenza di dispersione di griglia ».

La membrana del telefono non può vibrare alle frequenze radiotelegrafiche; ma, per effetto della notevole induttanza degli avvolgimenti del telefono, le oscillazioni della corrente anodica assumono la forma indicata in (5). In tal guisa, esattamente come avviene per lo schema della Fig. 251, il suono che si sente al telefono, ha la nota, che corrisponde alla frequenza dei treni d'onde. Se le onde, che colpiscono l'antenna, sono onde persistenti, possono esser raddrizzate con l'uno o con l'altro di questi due metodi, purchè però esse siano state precedentemente suddivise in treni di onde di frequenza telefonica (cap. 5, par. 178). Per ricevere onde continue, non suddivise in treni di frequenza telefonica, si può ricorrere a particolari schemi di triodi, noti col nome di eterodina ed autodina, di cui si dirà in appresso al par. 201.

192. **Effetto dei segnali in arrivo sulla corrente anodica.** — La spiegazione ora data del funzionamento di un triodo raddrizzatore si basa sull'esatta corrispondenza fra le variazioni della tensione di griglia e quelle della corrente anodica: corrispondenza, che si può facilmente dimostrare, per via sperimentale. La Fig. 255 riassume graficamente i risultati di una di tali esperienze. La linea a tratto pieno riproduce la curva superiore della Fig. 248, e dà per un triodo, cui si applichi una tensione anodica costante, i valori della corrente anodica in corrispondenza a diversi valori della tensione di griglia, compresi fra —5,5 e +5,5 volt. La curva inferiore (punteggiata) rappresenta le variazioni, che la corrente anodica subisce, durante la ricezione di un segnale. Il circuito, che ha servito per la determinazione di queste curve, era costituito in modo che per effetto dei segnali

in arrivo una tensione oscillante ad alta frequenza si sovrapponesse alla tensione continua regolabile fornita alla griglia da un'apposita batteria. Le ordinate della curva punteggiata danno, per ogni valore della tensione di griglia, le variazioni subite dalla corrente anodica durante la ricezione dei segnali. Si noterà che in alcuni punti si ha un aumento della corrente anodica, ma in altri una diminuzione di essa, a seconda del tratto della caratteristica, nel quale il triodo si è fatto funzionare, variando la tensione di griglia (par. 189). Così, in corrispondenza di una tensione di griglia di +1,1 volt, la corrente anodica, subisce un aumento di circa 35 microampere sul suo valore medio: per una tensione di griglia nulla, l'aumento della corrente anodica è di 70 microampere. Con una tensione di griglia di +1,3 volt non si ha alcuna variazione nella corrente anodica, mentre in corrispondenza della tensione di +5 volt la corrente anodica diminuisce di più di 200 microampere, pur restando costante l'intensità di trasmissione dei segnali. Poichè è la corrente anodica che attraversa il ricevitore telefonico, è evidente che con questo particolare triodo, i segnali ricevuti sono più intensi per una tensione di griglia nulla o di circa +5 volt, mentre le tensioni comprese fra 1 e 1,5 volt dovrebbero evitarsi. Triodi differenti danno luogo a risultati analoghi; ma i valori più opportuni della tensione di griglia variano da triodo a triodo.

C. Triodo amplificatore.

193. Principio generale di funzionamento. — Si è detto nel par. 191 che un triodo funziona da raddrizzatore, in quanto che una tensione alternativa applicata alla griglia dà luogo nel circuito anodico ad oscillazioni disimmetriche di corrente. Mentre il triodo funziona da raddrizzatore, agisce effettivamente anche come amplificatore. Ed infatti le oscillazioni, che hanno luogo nel circuito anodico in relazione ad una determinata tensione di griglia, sono più ampie di quelle che si avrebbero, se la stessa tensione fosse direttamente applicata al circuito anodico. Questo

spiega perchè un triodo è un rivelatore più sensibile dei cristalli, i quali non fanno che raddrizzare le oscillazioni.

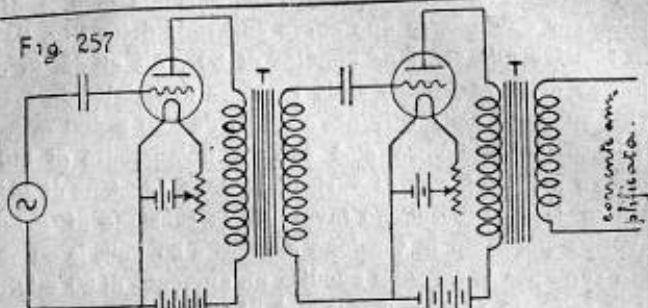
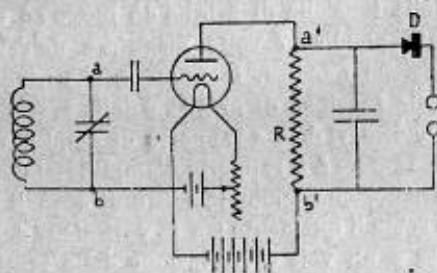
Il problema, che spesso si presenta, è di amplificare una corrente alternativa, senza tuttavia trasformarla in una corrente pulsante. Esso si può risolvere, applicando alla griglia una tensione tale da non alterare la simmetria delle oscillazioni nel circuito anodico. Così, se applichiamo alla griglia una tensione continua di valore tale, da far funzionare il triodo in un punto, che sia compreso nel tratto praticamente rettilineo della caratteristica (come il punto *P* della Fig. 256), una piccola variazione della tensione di griglia in più o in meno farà aumentare o diminuire la corrente anodica della stessa quantità. Se, ad esempio, la tensione di griglia si fa salire da *v* a *w* (Fig. 256), o diminuire della stessa quantità da *v* a *u*, la corrente anodica nel primo caso cresce da *a* a *c*, e nel secondo diminuisce da *a* a *b*. In altre parole la curva, che rappresenta le variazioni della tensione di griglia, è fedelmente riprodotta, in scala diversa, da quella, che indica le variazioni della corrente anodica. Questa nasce dunque dalla sovrapposizione di una corrente alternata sulla corrente continua, fornita dalla batteria *B*. L'ampiezza della componente alternativa della corrente anodica è tanto maggiore, quanto più ripido è l'andamento della curva nel punto *P*.

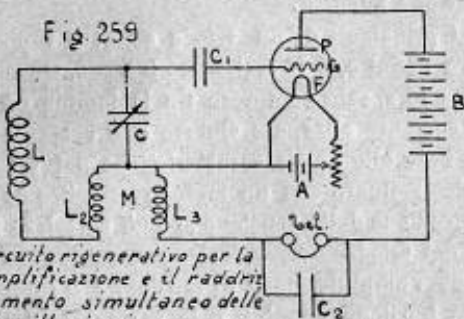
La *potenza* spesa per mantenere le oscillazioni nel circuito di griglia è assai minore di quella messa in giuoco dalle corrispondenti variazioni della corrente anodica, perchè la corrente di griglia è molto meno intensa della corrente anodica, ed inoltre anche la tensione è minore. Riferiamoci ad es. al triodo, di cui la Fig. 248 riproduce le caratteristiche. Quando la tensione di griglia oscilla in modo da far variare la corrente anodica fra i valori *a* e *b*, la corrente di griglia varia da circa 1 a 2 microampere; mentre la corrispondente oscillazione della corrente anodica è da 300 a 400 microampere. I valori medi rispettivi della tensione di griglia e di quella anodica sono 2,2 e 35 volt. Rammentando che il prodotto degli ampere per i volt ci dà i watt, la potenza spesa nel circuito di griglia è di 2,2 microwatt

e la corrispondente variazione di potenza nel circuito anodico è di 3500 microwatt. Chi fornisce la differenza fra la potenza spesa e quella utilizzata è la batteria *B*. Possiamo perciò concepire il triodo come un relais, azionato dai segnali in arrivo, il quale mette in giuoco una quantità di energia, assai superiore a quella posseduta dai segnali stessi. In questo caso si dice che il triodo agisce da « amplificatore ». Il funzionamento della griglia si può paragonare a quello della valvola distributrice a cassetto di una macchina a vapore alternativa; la griglia infatti immette energia dalla batteria nel circuito anodico, esattamente come la valvola a cassetto introduce energia dalla caldaia nel cilindro della macchina.

Per utilizzare nel circuito anodico la corrente alternativa amplificata, si può inserire in esso il primario di un trasformatore *T* (Fig. 257). Dal secondario di questo trasformatore la corrente alternata (par. 60) passa in un raddrizzatore a cristallo o in un raddrizzatore di altro tipo; oppure, se si richiede un'ulteriore amplificazione, si può inviare nel circuito di griglia di un secondo triodo amplificatore, come in Fig. 257. A questo secondo triodo segue poi un triodo raddrizzatore o un cristallo. L'impiego di due o più triodi per amplificazioni successive costituisce l'« amplificazione in serie ».

Invece di ricorrere ad un trasformatore si può realizzare l'accoppiamento fra il circuito anodico del primo triodo ed il circuito di griglia del secondo, per mezzo di una resistenza o di una reattanza, come indica la Fig. 258, nella quale come raddrizzatore è usato un cristallo. Perchè un triodo dia luogo alla maggiore amplificazione possibile, la resistenza di accoppiamento deve essere eguale alla resistenza interna media del triodo, così come un generatore di corrente continua a tensione costante, dà il rendimento massimo, quando la resistenza interna eguaglia quella esterna.

194. Teoria elementare dell'amplificazione. — Le curve caratteristiche di un triodo mettono in evidenza che un aumento nella tensione di griglia dà luogo nella corrente anodica ad un aumento assai più forte di quello, che produrrebbe un'eguale va-

Amplificazione in serie

Amplificatore a resistenza

Circuito rigenerativo per la amplificazione e il raddrizzamento simultaneo delle oscillazioni.

riazione nello stesso senso apportata alla tensione anodica. Si considerino, per esempio, le due curve superiori della Fig. 248. La curva relativa alla tensione anodica di 30 volt ci dà, in corrispondenza della variazione della tensione di griglia da 1, 2 a 3 volt, un aumento della corrente anodica da 200 a 400 microampere; la corrente anodica cioè subisce un'aumento di 110 microampere per ogni volt di variazione della tensione di griglia. Se d'altro lato manteniamo invariata la tensione di griglia a 1, 2 volt, e portiamo la tensione anodica a 35 volt, la curva superiore ci dà per la corrente anodica un aumento di 80 microampere; la corrente anodica cresce cioè di 16 microampere per ogni volt di aumento della tensione anodica. In altre parole l'aumento di un volt della tensione di griglia dà luogo ad una variazione della corrente anodica 7 volte maggiore dell'aumento di un volt della tensione anodica. Il numero, che rappresenta gli effetti relativi della tensione di griglia e della tensione anodica sulla corrente anodica, si dice « rapporto di amplificazione » del triodo. Quanto maggiore è il rapporto d'amplificazione, tanto più efficiente è il triodo, quale amplificatore di segnali deboli. Esso si può definire come il quoziente tra la variazione della corrente anodica dovuta a un volt di variazione della tensione di griglia, e la variazione della stessa corrente per un volt di variazione della tensione anodica.

Le due costanti principali di un triodo sono: il rapporto di amplificazione, ora definito, e la resistenza interna. Quest'ultima è la resistenza, che lo spazio compreso fra la lamina ed il filamento offre alla corrente alternata. Queste due costanti si possono calcolare in base alle curve caratteristiche del triodo, oppure si possono determinare con un metodo semplice di misura a ponte. L'amplificazione della tensione si può calcolare in base alle due costanti del triodo.

Si definisce come « amplificazione di tensione » il rapporto tra la variazione della tensione anodica e la variazione della tensione di griglia. Nell'amplificatore con accoppiamento a resistenza della Fig. 258 essa sarebbe il rapporto fra la tensione esistente ai terminali a' e b' di R, e la tensione applicata fra a e b. Chia-

mando K il rapporto di amplificazione ed R_0 la resistenza interna, si può dimostrare che l'amplificazione di tensione, in un amplificatore di questo tipo, è data dall'espressione

$$\frac{KR}{R+R_0}$$

195. Amplificazione delle oscillazioni a frequenza telefonica. — Nelle precedenti considerazioni si è accennato al fatto, che, perchè una corrente a frequenza radiotelegrafica possa azionare un telefono, deve, dopo l'amplificazione, essere raddrizzata da qualche dispositivo rettificatore. Questo non è necessario, se la frequenza della corrente, che si amplifica, è d'ordine telefonico; perchè in questo caso, per ricevere i segnali, basta inserire il ricevitore telefonico nel circuito anodico dell'amplificatore. Ricorre talvolta di voler amplificare la corrente di frequenza telefonica, ottenuta dal raddrizzamento di una corrente di frequenza radiotelegrafica. In tal caso la corrente radiotelegrafica, suddivisa in treni d'oscillazioni, passa prima nel dispositivo raddrizzatore, e gli impulsi di corrente, che hanno la frequenza dei treni d'onde, vengono poi ad agire nell'amplificatore. Il processo dell'amplificazione può comprendere diversi stadi, come avviene nell'amplificazione in serie, rappresentata in Fig. 257. Con un amplificatore, costituito da due triodi in serie, sembra si sia raggiunta un'amplificazione dell'ordine di circa 10000.

196. Amplificazione e rigenerazione delle oscillazioni. — È possibile aumentare enormemente la sensibilità di un triodo raddrizzatore con un metodo, che sfrutta anche la proprietà amplificatrice dei triodi. La Fig. 259 rappresenta lo schema, da impiegare con questo metodo, di cui si può dare la spiegazione seguente. Le oscillazioni del circuito LL_3C, applicate alla griglia per mezzo del condensatore C_1, producono nella corrente continua fornita al circuito anodico dalla batteria B delle variazioni, che ne sono la riproduzione fedele. La corrente anodica attraversa L_3, e, per effetto della mutua induttanza M, parte della energia da essa posseduta ritorna al circuito di griglia, per modo che la

corrente nel circuito LL_2C ne risulta rinforzata. Le oscillazioni di griglia così amplificate danno luogo attraverso alla griglia a variazioni della corrente anodica ancora più sensibili, rinforzando ancora le oscillazioni del sistema. Contemporaneamente al processo amplificativo, procede pure la normale azione raddrizzatrice della valvola, il condensatore C_1 si carica nel modo consueto, ma accumula una carica, che è proporzionale, non alla intensità iniziale dei segnali, ma all'ampiezza finale delle oscillazioni nel circuito di griglia. La corrente, che attraversa il telefono, è di conseguenza molto più intensa di quella, che avrebbe prodotto l'oscillazione primitiva del circuito di griglia.

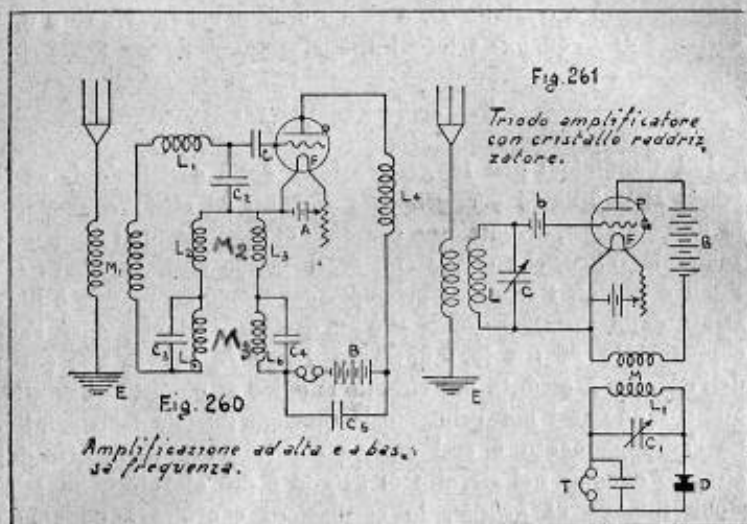
Per ottenere sulla griglia la maggior tensione possibile, il circuito LL_2C deve avere grande induttanza e piccola capacità. Le due induttanze L_2 ed L_3 devono essere accoppiate in modo che la f. e. m. di mutua induzione aiuti e non contrasti le oscillazioni. Lo schema della Fig. 259 può subire alcune varianti. Il condensatore C può essere derivato su L_3, per modo che il circuito oscillatorio sintonizzato risulti in serie con l'anodo anzichè colla griglia. Il condensatore C può anche essere derivato su tutta l'induttanza, ed allora il circuito oscillatorio comprende L_1 L_2 ed L_3.

Amplificazione e rigenerazione simultanea di oscillazioni a frequenza radiotelegrafica e di oscillazioni a frequenza telefonica. — Si può usare un'unico triodo per amplificare e raddrizzare la corrente a frequenza radiotelegrafica, e contemporaneamente amplificare gli impulsi di frequenza telefonica, che si hanno al ricevitore. Lo schema dei circuiti è rappresentato dalla Fig. 260. M_2 costituisce l'accoppiamento fra circuito di griglia e circuito anodico per le oscillazioni di frequenza radiotelegrafica; e le bobine L_2 L_3 hanno un'induttanza relativamente piccola. M_3 costituisce l'accoppiamento per le oscillazioni di frequenza telefonica, e gli avvolgimenti del trasformatore hanno un'induttanza di un henry o più. I condensatori variabili C_3 e C_4 hanno il doppio scopo di sintonizzare M_3 per la frequenza telefonica e di fornire una via di passaggio alle oscillazioni di frequenza radiotelegrafica della corrente anodica, che si hanno nel circuito

$PFL_3C_4C_5L_4$. Contemporaneamente le oscillazioni di frequenza telefonica seguono il circuito $PFL_3L_6TBL_4$. L'amplificazione finale di segnali deboli è con questo metodo circa 100 volte maggiore di quella ottenuta con l'ordinario schema di triodo amplificatore. L'amplificazione dei segnali più forti è meno sensibile.

197. Triodo amplificatore con cristallo raddrizzatore. — Le curve caratteristiche di un triodo mettono in evidenza che la

Fig. 260 — Amplificazione ad alta e a bassa frequenza.

Fig. 261 — Triodo amplificatore con cristallo raddrizzatore.

tensione di griglia più opportuna, per ottenere il funzionamento di un triodo amplificatore, non coincide con quella che dà luogo al miglior effetto raddrizzante; sarebbe questa una ragione per assegnare le due funzioni a due distinti triodi. Con questo sistema però l'apparato ricevitore perde in semplicità; e perciò da taluni si preferisce la combinazione di un triodo amplificatore con un cristallo raddrizzatore, come indica la Fig. 261.

Il circuito oscillante LC è accoppiato all'antenna, ed ambedue sono sintonizzati per la frequenza delle onde in arrivo. La

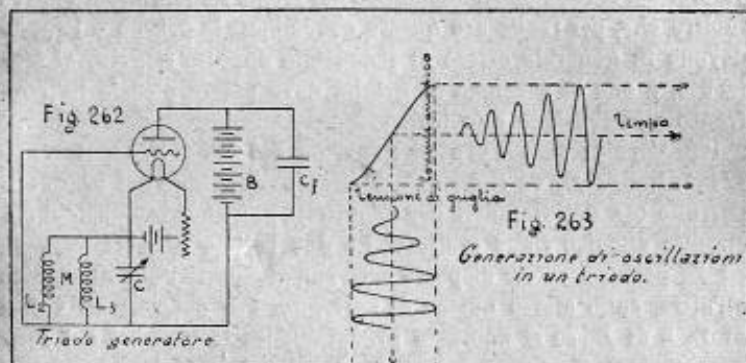
tensione alternativa applicata ai capi dell'induttanza L viene ad agire fra il filamento F e la griglia G, che è già alla tensione opportuna, fornita dalla batteria b, perchè il triodo funzioni in un punto situato nel tratto rettilineo della caratteristica.

Le oscillazioni amplificate del circuito anodico ne inducono altre nel circuito oscillante L_1C_1 che è accoppiato al primo in M. Il circuito L_1C_1 come gli altri due è sintonizzato per la frequenza delle onde in arrivo. Le alternative di tensione fra i capi dell'induttanza L_1 sono raddrizzate, come d'ordinario, dal raddrizzatore a cristallo D, e danno origine nel ricevitore a una corrente di frequenza telefonica.

D. Triodo generatore.

198. **Condizioni per la generazione delle oscillazioni.** — Il triodo si può usare per generare correnti ad alta frequenza, e in quest'ipotesi, diventa una sorgente di oscillazioni di frequenza radiotelegrafica, che si possono usare per la trasmissione di segnali o per altri scopi. Il principio del triodo generatore è illustrato dalla Fig. 259. Come si è già detto precedentemente, l'accoppiamento M fra le induttanze L_2 ed L_3 riporta una parte dell'energia posseduta dal circuito anodico al circuito di griglia, aumentando così notevolmente la tensione iniziale della griglia. Se l'accoppiamento è così stretto che la tensione indotta dal circuito anodico nel circuito di griglia è più elevata della tensione iniziale di griglia, le oscillazioni continueranno anche quando la sorgente, che inizialmente aveva innescato le oscillazioni nel circuito di griglia, verrà a mancare. Un triodo, usato come « oscillatore », può così generare oscillazioni persistenti di qualunque frequenza compresa fra 1 e 10.000.000 di periodi al secondo.

Una grande varietà di schemi si sono adottati per i triodi generatori. Uno schema semplice e d'impiego pratico è rappresentato in Fig. 262. L'induttanza L_2 e la capacità C hanno valori opportuni, in relazione alla frequenza delle oscillazioni, che il triodo deve generare. Una perturbazione elettrica qualunque,

per esempio la chiusura del circuito anodico sulla batteria, o una variazione della capacità di C fa innescare delle oscillazioni nel circuito L_3C. Per effetto dell'accoppiamento M, la griglia viene di conseguenza ad assumere un potenziale variabile: le oscillazioni del circuito di griglia danno luogo ad oscillazioni amplificate nel circuito anodico, e parte dell'energia di queste si riflette attraverso all'accoppiamento M nel circuito di griglia, per modo che una tensione oscillante di ampiezza ancora maggiore viene ad essere impressa alla griglia. Se le induttanze L_2 L_3, la capacità C, e la resistenza del circuito L_3C hanno valori opportuni, l'ampiezza delle oscillazioni nel circuito L_3 C

va man mano crescendo, e raggiunge un determinato valore finale, come indica la Fig. 263. In questa figura, a sinistra in alto, è disegnata la curva, che dà per un triodo la corrente anodica in funzione della tensione di griglia: in basso è raffigurato il successivo amplificarsi della tensione di griglia, e a destra l'amplificazione corrispondente delle oscillazioni della corrente anodica. Dopo un certo tempo le oscillazioni della corrente anodica raggiungono un'ampiezza limite, compresa fra il gomito inferiore e quello superiore della caratteristica. Un ulteriore aumento della tensione oscillante di griglia non può dar luogo che a un piccolo accrescimento della tensione anodica,

poichè la curva caratteristica, dopo il gomito, ha un andamento quasi orizzontale.

L'attitudine ad oscillare di un triodo dipende dalla pendenza della sua caratteristica (Fig. 263) e dalla sua resistenza interna. Se la caratteristica è ripida, una piccola variazione nella tensione di griglia dà luogo ad un ampia variazione nella corrente anodica. Un triodo con una caratteristica di questo tipo è molto sensibile, ed oscilla prontamente. Perchè le oscillazioni della corrente anodica possano raggiungere la loro ampiezza massima, l'accoppiamento fra L_2 ed L_3 deve essere stretto, ed il coefficiente di accoppiamento non deve essere inferiore a un determinato valore. La trattazione matematica del triodo generatore dimostra inoltre che, per realizzare questa condizione, la griglia e l'anodo devono in generale essere di potenziale opposto rispetto al filamento, e che la tensione di griglia deve essere piccola in confronto alla tensione anodica.

199. Considerazioni pratiche sull'uso dei triodi generatori. — L'induttanza L_2 va inserita nel circuito di griglia nel senso opportuno (da determinarsi per tentativi), perchè le oscillazioni de circuito anodico siano esaltate. Le due bobine d'induttanza L_2 ed L_3 possono essere disposte convenientemente l'una di seguito all'altra, sullo stesso nucleo di sostegno. Per determinati valori di L_2 e di L_3, se si aumenta gradatamente la capacità del condensatore C, si giunge a una condizione in cui le oscillazioni nel circuito L_3C si disinnescano. Per realizzare lunghezze d'onde maggiori conviene allora accrescere l'induttanza delle due bobine L_2 e L_3.

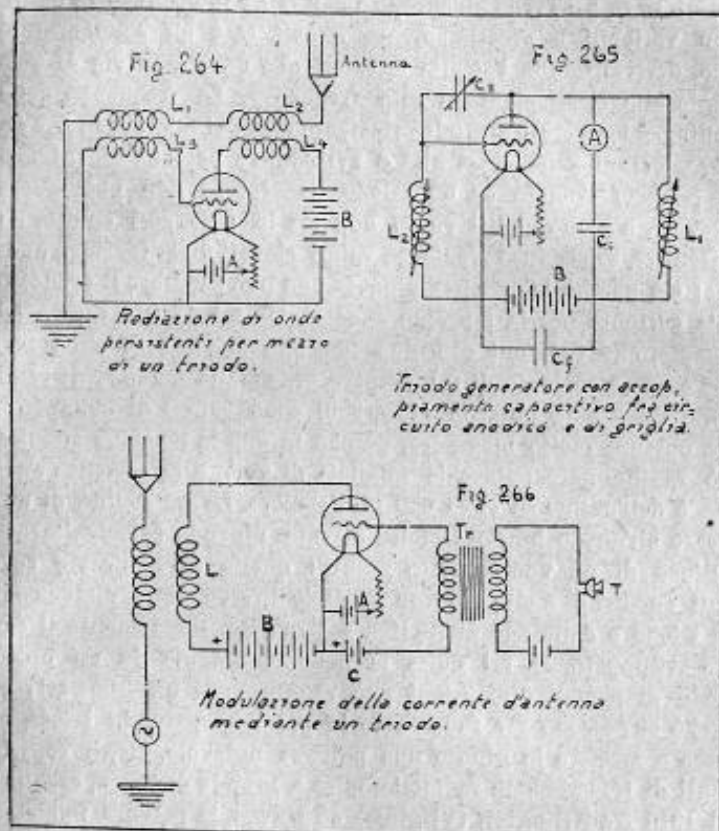
Il triodo, usato come generatore di oscillazioni nelle misure radiotelegrafiche, presenta notevoli vantaggi in confronto agli ordinari vibratori. Per avere oscillazioni di ampiezza e frequenza costanti, conviene, se si impiegano in uno stesso circuito diversi triodi, disporre di una batteria anodica distinta per ciascuno di essi. Con questa precauzione lo scarto, che si verifica nell'ampiezza e nella frequenza delle oscillazioni, è dell'ordine da 0,1 all'1 per cento.

In Fig. 264 è rappresentato uno schema adatto alla produzione

delle oscillazioni e all'irradiazione delle onde elettromagnetiche. In questo schema l'accoppiamento fra i circuiti di griglia e anodico è realizzato dalle due induttanze L_1 ed L_2 in serie col circuito d'antenna. Esse sono rispettivamente accoppiate, una con l'induttanza

Radiazione di onde persistenti per mezzo di un triodo.

Triodo generatore con accoppiamento capacitivo fra circuito anodico e di griglia.

Modulazione della corrente d'antenna mediante un triodo.

L_3 del circuito di griglia, e l'altra con l'induttanza L_4 del circuito anodico. Una delle due è variabile. Si tengano presenti a questo proposito anche gli schemi usati in radiotelefonia, di cui si dirà in appresso.

Non è necessario, perchè un triodo funzioni come generatore di oscillazioni, che l'accoppiamento fra il circuito di griglia e quello anodico sia induttivo; si può anche usare l'accoppiamento di capacità, come indica la Fig. 265, nella quale il condensatore C_3 provvede all'accoppiamento. Le induttanze L_1 ed L_2 sono variabili e prossimamente eguali. C_1 è un condensatore fisso, derivato sulla batteria anodica, che offre una via di passaggio alle oscillazioni ad alta frequenza. La frequenza delle oscillazioni generate dipende principalmente dai valori di L_1 L_2 e C_2.

200. **Triodi generatori atti a sviluppare potenze elevate.** — La potenza erogata da un triodo generatore non può essere notevole, a meno che il vuoto non sia in esso così spinto, da consentire, senza inconvenienti, valori elevati della tensione anodica; ciò perchè la potenza erogata non può superare il prodotto della corrente per la tensione anodica. Un triodo generatore, ad esempio, che funzioni con una tensione anodica di circa 350 volt ed una corrente di 0,1 ampere, eroga una potenza di circa 3 watt. I grandi pliotron (Fig. 250) sono capaci di sviluppare una potenza molto maggiore, perchè in essi la tensione anodica può raggiungere parecchie migliaia di volt, e la corrente anodica è dell'ordine di circa 400 milliampere. La possibilità di applicare all'anodo tensioni molto elevate dipende principalmente dall'uso di un vuoto molto spinto: quella di realizzare correnti anodiche molto intense dipende invece dalle dimensioni del triodo e dalla sua attitudine a irradiare rapidamente il calore sviluppato. In tal guisa la potenza erogata da un unico triodo di grandi dimensioni può raggiungere un kilowatt; e, poichè si possono far funzionare in parallelo parecchi triodi, si riesce a mettere in giuoco una potenza notevole. Negli esperimenti di trasmissione radiotelefonica a grande distanza, eseguiti nel 1916 fra Arlington (Virginia), ed Hawai, la potenza immessa nell'aereo di Arlington da molti triodi generatori in parallelo raggiunse i 9 kilowatt, con una tensione anodica di 600 volt e una corrente d'antenna di 60 ampere.

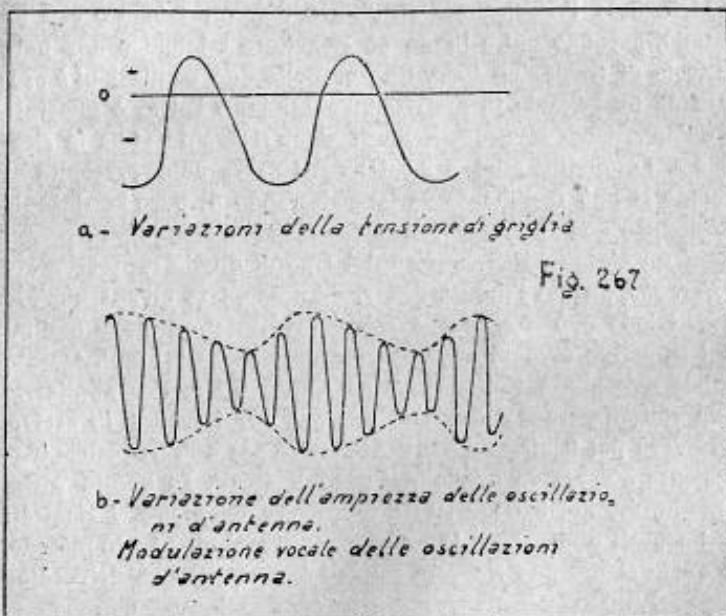
201. **Ricezione ad eterodina e ad autodina.** — Se due diapason, muniti di cassa di risonanza, vibrano contemporaneamente

l'uno alla frequenza di 256 e l'altro di 260 vibrazioni al secondo, una persona, che sia a breve distanza da essi, ode un suono, che raggiunge alternativamente la sua massima e minima intensità quattro volte al secondo. Queste variazioni di intensità costituiscono i « battimenti ». Analogamente, se due sorgenti di oscillazioni elettriche continue, l'una di frequenza 500.000 e l'altra di frequenza 501.000 agiscono simultaneamente sullo stesso circuito, l'ampiezza dell'oscillazione risultante sale ad un massimo e scende periodicamente ad un minimo 1000 volte al secondo. Raddrizzando l'oscillazione risultante con un triodo o con un cristallo, potremo udire in un un ricevitore telefonico una nota musicale di frequenza 1000. Se una delle due oscillazioni è prodotta da un segnale in arrivo sull'antenna, e l'altra è generata da un'opportuna sorgente nella stazione ricevente, si ha la ricezione a « eterodina » od a « battimenti ». La nota percepita al telefono si può facilmente variare, alterando di poco la sintonia del circuito generatore locale.

Con un circuito rigeneratore del tipo di quello rappresentato in Fig. 259, (in cui l'induttanza L sia accoppiata all'antenna), lo stesso triodo può funzionare come raddrizzatore delle oscillazioni in arrivo e come generatore di oscillazioni locali. Questo metodo costituisce la ricezione ad « autodina ». Per applicarlo basta sintonizzare il circuito di antenna per i segnali in arrivo, e regolare poi il circuito oscillante locale per una frequenza leggermente diversa da quella dei segnali stessi. In questa guisa si producono dei battimenti di frequenza telefonica. I risultati sperimentali dimostrano la grande sensibilità di questo metodo, col quale si possono ricevere segnali di una potenza dell'ordine di soli $\frac{1,5}{10^{15}}$ watt.

Questi metodi permettono quindi la ricezione di segnali anche debolissimi; essi consentono inoltre di ridurre al minimo l'interferenza colle altre stazioni; in quanto che, se i segnali che interferiscono colla sorgente locale di oscillazioni hanno una frequenza di poco diversa, la nota che si ha al telefono è nettamente cambiata, e spesso addirittura non percettibile. Supponiamo ad

esempio, che la frequenza delle oscillazioni locali sia di 500.000 (λ=600 metri); quella delle oscillazioni prodotte dai segnali, per cui si è in ascolto, sia di 501.000; e che le oscillazioni interferenti abbiano la frequenza di 502.000; la nota corrispondente ai segnali intrusi avrà una frequenza di 2000, che è più elevata di un'intera ottava della nota, prodotta dai segnali, per cui si è in attenzione. Se la sorgente, che interferisce, avesse una frequenza di 530.000 la nota dei suoi battimenti sarebbe così elevata, da non poter essere percepita al telefono.

Fig. 267

E. Radiotelefonia.

202. **Modulazione vocale delle correnti radiotelegrafiche generate dai triodi.** — I principi della radiotelefonia sono identici a quelli della radiotelegrafia ad onde persistenti, colla sola differenza che il tasto di segnalazione è sostituito da un apparato, che modula la corrente di trasmissione, per mezzo delle

onde sonore prodotte dalla voce. L'antenna irradia un'onda di frequenza radiotelegrafica, la cui intensità varia col variare della frequenza delle onde sonore. E poichè la frequenza di queste è assai più bassa di quella delle onde radiotelegrafiche, ogni onda sonora comprende un numero considerevole di oscillazioni radiotelegrafiche, come indica la curva inferiore della Fig. 267. L'onda radiotelegrafica è così trasmessa ad impulsi, e si può ricevere con uno degli ordinari apparati, che si usano per la ricezione dei segnali radiotelegrafici ad onde smorzate.

La potenza, messa in giuoco dalle onde sonore prodotte dalla parola, è relativamente molto piccola, non più di 0,000,000,01 watt; eppure essa è sufficiente a modulare la potenza di uno o più kilowatt a frequenza radiotelegrafica, che si trasmette nella radiotelefonia a grande distanza. Basta a tal uopo amplificare l'effetto delle onde sonore: e la modulazione delle oscillazioni radiotelegrafiche avviene nella maniera seguente.

Si abbia un generatore di oscillazioni radiotelegrafiche, che ecciti direttamente un'antenna, com'è indicato in Fig. 266. Come generatori si sono utilmente impiegati gli archi, gli apparati a scintilla strappata e a spinterometro rotante, gli alternatori ad alta frequenza, e i triodi. Il dispositivo di controllo è generalmente costituito da un microfono, inserito in un circuito, accoppiato induttivamente al circuito di griglia di un triodo, com'è indicato in Fig. 266. Il circuito anodico del triodo è accoppiato induttivamente all'antenna per mezzo dell'induttanza L. La griglia è mantenuta dalla batteria C ad una tensione negativa. La corrente, che attraversa l'induttanza di antenna, induce fra filamento ed anodo una tensione alternativa: ma, essendo la griglia ad un potenziale fortemente negativo, la corrente anodica non subisce che variazioni di limitatissima entità. Supponiamo ora di imprimere alla griglia per mezzo del microfono T e del trasformatore T, una tensione alternativa di frequenza telefonica. Quando il potenziale negativo della griglia diminuisce, o diviene leggermente positivo, l'intensità della corrente anodica raddrizzata aumenta; il triodo assorbe potenza dall'antenna, e l'ampiezza delle oscillazioni sull'antenna diminuisce. Le oscillazioni ad alta frequenza dell'an-

tenna presentano quindi delle variazioni di ampiezza in corrispondenza delle alternative a frequenza telefonica della tensione di griglia; e precisamente la corrente di antenna diminuisce negli istanti, in cui il potenziale positivo della griglia aumenta. Il fenomeno è illustrato dalla Fig. 267, nella parte superiore della quale sono rappresentate le pulsazioni della tensione di griglia dovute al microfono, e nella parte inferiore le variazioni di ampiezza, che si hanno nelle oscillazioni ad alta frequenza dell'antenna trasmettente.

Le variazioni a frequenza telefonica dell'ampiezza delle oscillazioni di frequenza radiotelegrafica si riproducono nell'antenna della stazione ricevente, dove sono raddrizzate, e danno luogo nel telefono ricevente ad impulsi di corrente, aventi frequenza telefonica. Le pulsazioni di corrente nel telefono hanno la frequenza e la forma dalle curve punteggiate, che inviluppano le oscillazioni dell'antenna, in Fig. 267.

203. **Altri sistemi di modulazione delle oscillazioni radiotelegrafiche.** — La dimostrazione più notevole della possibilità pratica della radiotelefonia si ebbe nel 1916, quando alcuni messaggi trasmessi a voce da Arlington (Virginia) furono intesi a Parigi ed in Hawai, ad una distanza, che per quest'ultima località si aggira sulle 5100 miglia. In queste esperienze le oscillazioni furono generate, modulate e ricevute mediante triodi. Altri sistemi di generazione e di modulazione hanno anche dato buoni risultati: accenneremo a due di essi.

Modulazione mediante microfoni. — Il sistema usato più comunemente consiste nell'inserire direttamente nel circuito di antenna dei microfoni di tipo speciale. In un microfono ordinario la corrente non può superare l'intensità di 0,2 ampere con un consumo di potenza intorno a 2 watt, se non si vuole incorrere in riscaldamenti eccessivi dell'apparecchio. Per modulare potenze notevolmente maggiori, il tipo ordinario di microfono è stato modificato in vari modi. Lorenz ha usato 25 microfoni collegati in parallelo: Fessenden ha ideato microfoni speciali con refrigerazione ad acqua; Egner ed Holmstrom hanno adottato la refrigerazione ad olio; Marzi ha sperimentato

un microfono, nel quale i granuli di carbone sono tenuti in movimento; Chambers e Vanni hanno impiegato dei microfoni, nei quali si utilizza la variazione di resistenza, che si ha in un getto liquido, controllato da una membrana in vibrazione, che coli a goccie tra due elettrodi conduttori.

Modulazione ferromagnetica. — Questo metodo di modulazione delle oscillazioni ad alta frequenza di un'antenna per mezzo della voce si basa sul fatto che la permeabilità del ferro varia al variare dell'intensità della magnetizzazione (cap. 1, par. 42). Man mano che la magnetizzazione cresce, la permeabilità del ferro sale rapidamente ad un massimo e poi scende lentamente. Se quindi facciamo circolare in un solenoide a nucleo di ferro una corrente, di intensità gradatamente crescente, l'induttanza dell'avvolgimento cresce dapprima con rapidità e poi diminuisce lentamente. Su questo principio si basano due sistemi di radiotelefonia, l'uno dovuto alla Società tedesca Telefunken, e l'altro alla General Electric Co. americana.

204. Impiego pratico dei triodi in radiotelefonia. — Si è già dato un esempio dell'uso di un triodo per modulare le oscillazioni di un'antenna trasmettente. In radiotelefonia i triodi sono stati largamente usati, sia per modulare che per generare le oscillazioni ad alta frequenza. Gli oscillion, i pliotron ed altri triodi a grande potenza si prestano bene a tale scopo.

Nell'esempio illustrato (Fig. 266), la modulazione della corrente di antenna si ottiene, applicando alla griglia del triodo modulatore le variazioni di tensione prodotte da un microfono, e accoppiando induttivamente all'antenna trasmettente il circuito anodico del triodo stesso. Quando la sorgente di energia radiante, di cui si dispone, è un triodo generatore, la modulazione può avvenire con un metodo diverso. Nell'esempio precedente, il triodo modulatore agisce direttamente sulle oscillazioni ad alta frequenza; ma quando la sorgente dell'energia oscillante è un triodo, lo stesso scopo si può raggiungere, agendo sulla componente continua della corrente anodica del triodo generatore. Per comprendere come ciò possa avvenire, dobbiamo immaginare che le variazioni della tensione di griglia abbiano per effetto di far variare la

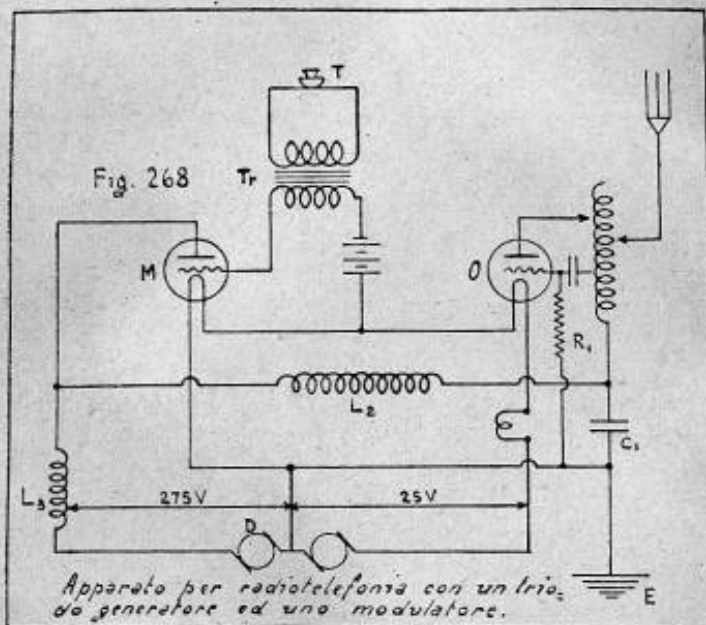
resistenza fra l'anodo ed il filamento del triodo. Si consideri per esempio la curva quotata 30 volt della Fig. 248. Con una tensione di griglia di 3 volt, la tensione anodica di 30 volt dà luogo ad una corrente anodica di 400 microampere; mentre con una tensione di griglia di 1,4 volt, la stessa tensione anodica dà luogo ad una corrente anodica di 200 microampere. Nel circuito anodico abbiamo quindi nel primo caso una resistenza di 75.000 ohm, ed una resistenza di 150.000 ohm nel secondo caso. Supponiamo ora che il triodo modulatore e quello generatore siano collegati in parallelo, e che la stessa sorgente di corrente continua alimenti i circuiti anodici dei due triodi. Il microfono sia collegato al primario di un trasformatore, il cui secondario sia inserito nel circuito di griglia del triodo modulatore. La resistenza del triodo modulatore subirà notevoli variazioni per effetto della parola nel microfono, e di conseguenza l'intensità della corrente continua tra anodo e filamento del triodo modulatore sarà soggetta a variazioni di frequenza telefonica. Supponiamo che gli anodi dei due triodi, il modulatore e il generatore, collegati in parallelo, siano alimentati da una corrente d'intensità costante fornita da una dinamo. Man mano che la corrente assorbita dal triodo modulatore varia per effetto della parola, varia in proporzione inversa l'intensità della corrente assorbita dal circuito anodico del triodo generatore, che è in parallelo con quello su di una sorgente di corrente di intensità costante. Questo schema è illustrato dalla Fig. 268.

Il microfono ed il trasformatore sono indicati rispettivamente con T e T_1. M è il triodo modulatore ed O quello generatore. La dinamo rappresentata in D ha sull'indotto due avvolgimenti ciascuno col proprio collettore; uno di essi fornisce la corrente a 275 V ai due circuiti anodici in parallelo, e l'altro la corrente di accensione pei due filamenti in serie. Il generatore è collegato ai 2 anodi attraverso alle notevoli induttanze L_2 ed L_3. Queste induttanze modificano la potenza fornita a tensione costante in potenza a corrente costante, la quale viene suddivisa fra i due triodi, generatore e modulatore, in relazione all'effetto

di controllo, che il modulatore esercita attraverso al circuito di griglia.

L'apparato ricevente usato con questo trasmettitore si compone di tre triodi, uno dei quali funziona da raddrizzatore e due da amplificatori. Il vasto campo di utilizzazione dei triodi nella radiotelegrafia pratica è messo bene in evidenza da questo complesso, nel quale cinque triodi disimpegnano quattro funzioni

Fig. 268

Apparato per radiotelefonia con un triodo generatore ed uno modulatore.

diverse, e cioè: la generazione, la modulazione, l'amplificazione e la ricezione delle oscillazioni.

I pliotron della General Electric Co. sono triodi generatori atti alla trasmissione radiotelefonica a grande distanza. Essi hanno un vuoto così spinto, che fra anodo e filamento si possono applicare tensioni dell'ordine di parecchie migliaia di volt, senza che si verifichino luminescenze azzurre. La potenza ero-

gata è di parecchie centinaia di watt, ed è possibile far funzionare un certo numero di questi triodi in parallelo.

Gli apparati radiotelefonici, nei quali si usano i triodi, per generare e per modulare le correnti di frequenza radiotelegrafica, hanno avuto durante la guerra mondiale un impiego militare di notevole importanza.

APPENDICE N. 1

ESPERIENZE DI LABORATORIO

Esperienza N. 1. Effetti della corrente elettrica. — (a) *Effetto magnetico.* — Si dispongano in serie una batteria di accumulatori, un interruttore, un reostato di 3 ohm, e un conduttore di rame lungo 2 m. del diametro di 1 mm. Un tratto del conduttore sia parallelo ad un piccolo ago da bussola, collocato ad un'altezza sul conduttore di 1 cm. o più. Si ripeta l'esperienza, disponendo l'ago nello stesso piano verticale del conduttore: poi invertendo le connessioni ai serrafili della batteria. Si applichi la regola della mano destra per individuare la direzione della corrente. Si inserisca nel circuito un piccolo elettromagnete e si confronti il suo funzionamento con quello di un magnete permanente.

(b) *Effetto termico.* — Si tolga dal circuito l'elettromagnete, e lo si sostituisca con mezzo metro di filo di ferro del diametro di 0,25 mm. Si escluda mano mano tutta la resistenza del reostato: si vedrà il filo scaldarsi al calor rosso. Si diminuisca la lunghezza del filo e si ripeta l'esperienza. Si sostituisca al filo di ferro una valvola da 2 ampere. Si escluda la resistenza del reostato, fino a farla fondere.

(c) *Effetto chimico.* — Si immergano due fili di rame, collegati ai serrafili di una batteria di accumulatori, in un vaso contenente una soluzione leggermente acida (al 10 °/₀ circa) di solfato di rame. Dopo che la corrente ha attraversato la soluzione per un po' di tempo, si constati la reazione chimica avvenuta.

Esperienza N. 2. Legge di Ohm. — (a) *La corrente è inversamente proporzionale alla resistenza.* — Si dispongano in serie una batteria di accumulatori da 4 V, un milliamperometro (con scala da 10 a 150 milliampere) e un reostato da 400 ohm. Si escluda la resistenza del reostato a salti, in modo da realizzare 8 valori successivi equidistanti della resistenza, e in una tabella

si scrivano in corrispondenza ai valori delle resistenze le intensità relative della corrente.

(b) *La corrente è proporzionale alla f. e. m.* — Si dispongano in serie due pile eguali, un milliamperometro, e una resistenza di circa 40 ohm. Si tenga conto dell'intensità della corrente. Si ripeta l'esperienza con una sola pila.

$$\frac{E}{I}=\frac{2E}{I'}=R$$

Esperienza N. 3. Misura della resistenza con un volmetro ed un amperometro. — Si faccia passare nel filamento di una lampadina la corrente necessaria per renderlo incandescente. Si misuri la corrente all'amperometro, guarnito in serie, e la tensione al volmetro, derivato sulla lampadina, e si calcoli la resistenza. Si misuri con questo metodo la resistenza del filamento di un triodo, regolando la corrente al suo valore normale.

Esperienza N. 4. Uso del ponte di Wheastone. — Si colleghino ai serrafili dello strumento segnati X i terminali della resistenza da misurare. Si premano il pulsante della pila e quello del galvanometro. Si misurino la resistenza del filamento a freddo di un triodo, quella di un milli e di un microamperometro, di un reostato a cursore, dell'avvolgimento di eccitazione di una dinamo.

Esperienza N. 5. Aggruppamento in serie e in parallelo. — (a) *Verifica della relazione*: $\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}$; oppure $R=\frac{r_1 r_2}{r_1+r_2}$. Strumenti: un milliamperometro (da 10 a 150 milliamp.), una cassetta di resistenza, una resistenza di 50 ohm, una pila a secco di f. e. m. nota. Si misuri la R risultante di 2 resistenze (p. es. di 70 e 50 ohm) (1) collegate in parallelo (2) collegate in serie. Si applichi alla misura di R le correzione dovuta alla resistenza R_a del milliamperometro: sarà:

$$R=\frac{E}{I}-R_a$$

Si confrontino i valori di R con quelli ottenuti dalla formula:

$$R=\frac{50\times 70}{120}=29,1 \text{ etc.}$$

Si ripeta l'esperienza, disponendo in serie e in parallelo le due resistenze 50 e 100 ohm, e 70 e 100 ohm.

(b) *Aggruppamento in parallelo delle pile.* — Per dimostrare che, con corrente moderata la polarizzazione è meno sensibile, si mettano in parallelo 3 ordinarie pile a secco. Si inserisca la batteria così costituita in un circuito della resistenza di 15 ohm con un amperometro in serie, e si ripeta l'esperienza con una sola pila.

Esperienza N. 6. Polarizzazione e depolarizzazione delle pile a secco. — Si inseriscano in un circuito della resistenza di 30 ohm alcune batterie di 3 pile ciascuna. Si lasci il circuito aperto, e si misuri di 2 in 2 minuti per 6 minuti consecutivi la tensione. Si ripeta l'esperienza con una resistenza di 20 ohm, di 5 in 5 o di 10 in 10 minuti. Si controlli poi con un volmetro il processo di depolarizzazione, di 10 in 10 minuti, per una durata conveniente.

Esperienza N. 7. Curve di carica e scarica di una batteria di accumulatori. — Si esegua l'esperienza, se possibile, con una batteria da 4 V del tipo usato per l'accensione del filamento di un triodo.

(a) *Curva di carica.* — Si leggano ad intervalli regolari di tempo la corrente di carica e la tensione ai terminali della batteria, tenendo conto dell'ora, della corrente e della tensione. Per ogni gruppo di letture si interrompa il circuito di carica per il tempo necessario a leggere la tensione della batteria a circuito aperto. Si calcoli per ogni gruppo di letture la resistenza interna apparente della batteria. Si misuri la densità dell'elettrolito con un densimetro, a intervalli regolari di tempo, e si tracci la curva avente per ascisse i tempi e per ordinate i valori corrispondenti della tensione.

(b) *Curva di scarica.* — Si facciano le stesse letture a inter-

valli di tempo piccoli da principio, e più prolungati verso la fine della scarica. Si disegni la curva di scarica.

Esperienza N. 8. Prove su di un complesso motore-generatore o su di un dinamotore. — Può servire un dinamotore, alimentato da una batteria di accumulatori a 10 V e che fornisca corrente a 300 volt. Si misurino la tensione e la corrente al motore, mediante un volmetro e un amperometro: e la tensione e la corrente fornita dal generatore mediante un volmetro e un milliamperometro, regolando la resistenza del circuito esterno della dinamo in modo da avere 8 valori equidistanti di corrente, intervallati fra 0 e 160 milliampere. Si calcoli la potenza fornita dalla dinamo, ed il rendimento per ogni valore della corrente erogata.

Esperienza N. 9. Reattanza e impedenza. — (a) Si calcoli l'impedenza di una bobina, avente la resistenza ohmica di 10 ohm e l'induttanza di 0,2 henry, in cui circoli una corrente alternata a 60 periodi e 110 V, misurando la corrente con un amperometro per correnti alternate.

(b) Si misuri al ponte di Wheastone la sua resistenza alla corrente continua.

(c) Si calcoli il valore della reattanza e del coefficiente di autoinduzione colla relazione: Impedenza $=\sqrt{R^2+(2\pi f L)^2}$.

(d) Si inserisca la bobina in questione nel circuito esterno dell'alternatore di un complesso trasmettente a scintilla: si rilevino i valori della corrente e della tensione. Per mezzo del valore di L calcolato (c), si trovi la frequenza dell'alternatore.

Esperienza N. 10. Cimometro. — (a) *Misura di lunghezza d'onda.* — Cimometro portatile, munito di amperometro a filo caldo, o di cristallo raddrizzatore e cuffia telefonica. Antenna eccitata da un triodo generatore.

(b) *Uso del cimometro come sorgente di oscillazioni di lunghezza d'onda conosciuta.* — Si regoli il condensatore del cimometro per una determinata lunghezza d'onda, e si ecciti con un vibratore il circuito oscillante del cimometro. Si sintonizzi per tale frequenza un circuito costituito da un'induttanza e da un condensatore in serie (l'uno o l'altro siano variabili), accoppiando al

circuito da sintonizzare un circuito aperiodico, contenente un cristallo e una cuffia, o un amperometro a filo caldo.

(c) *Curva di risonanza.* — Si può impiegare il dispositivo, adottato per l'esperienza (6), con un amperometro a filo caldo o un cristallo ed un galvanometro. Si osservino le deviazioni dello strumento in corrispondenza a differenti regolazioni dell'induttanza o del condensatore del circuito da sintonizzare: e si adoperi il cimometro come una sorgente di oscillazioni a frequenza costante per la durata dell'esperienza. Si disegni la curva avente come ascisse i valori di capacità o di induttanza e come ordinate le intensità della corrente.

Esperienza N. 11. Misura d'induttanza e di capacità col cimometro. — (a) *Misura di capacità.* Si inserisca il condensatore, di cui si vuole misurare la capacità, in serie con una bobina d'induttanza e con un amperometro a filo caldo: e si accoppi il circuito risultante a quello di un cimometro, eccitato da un triodo generatore. Si vari la frequenza delle oscillazioni generate da quest'ultimo, finchè l'amperometro indica che i due circuiti sono in risonanza. Si sostituisca al condensatore di capacità incognita un condensatore variabile campione, e, mantenendo invariata la frequenza del circuito di eccitazione, si regoli il condensatore campione, fino a riportare il circuito alla risonanza con quello di eccitazione. La capacità incognita ha lo stesso valore di quella del condensatore campione, nella condizione di risonanza. Capacità, che si prestano bene a questo tipo di misura: condensatore variabile ad aria, o capacità di un'antenna.

(6) *Misura di induttanza.* -- Si può usare esattamente il procedimento impiegato per la misura di una capacità incognita, ricorrendo però ad un'induttanza campione.

(c) *Uso di un cimometro come circuito eccitatore.* — Disponendo di un'induttanza o di una capacità di valore esatttamente conosciuto, si può misurare rispettivamente una capacità od una induttanza. Quando il circuito sotto prova è alla risonanza, il prodotto delle sua induttanza per la sua capacità si può ricavare in base alla lunghezza d'onda data dal cimometro. O l'induttanza o la capacità del circuito sotto prova devono essere

note; in caso contrario si potranno determinare, per confronto con un campione.

Esperienza N. 12 Taratura di un apparato ricevente per mezzo di un cimometro. — Si ecciti il cimometro con un vibratore. Si accoppi il cimometro all'induttanza dell'apparato ricevente. Tenendo l'induttanza e la capacità di questo ad un valore qualunque, si vari la lunghezza d'onda emessa dal cimometro, fino ad avere al telefono del ricevitore il suono di intensità massima. La lettura del cimometro indica la lunghezza d'onda, per cui l'apparato ricevente è sintonizzato. Si può invece regolare il cimometro per una determinata lunghezza d'onda, e trovare per tentativi l'opportuna combinazione di induttanza, capacità ed accoppiamento nell'apparato ricevente che dà, in corrispondenza di quella lunghezza d'onda, il suono più intenso al telefono. Una tabella, che raccolga i risultati di queste prove, renderà possibile una pronta regolazione dell'apparato ricevente per qualunque lunghezza d'onda.

Esperienza N. 13. Effetto della resistenza sulla curva di risonanza. — Si determini col procedimento usato nell'esperienza N. 10, la curva di risonanza. Si inserisca nel circuito sotto prova una resistenza nota di pochi ohm; e si tracci una seconda curva di risonanza. Si accresca la resistenza di una quantità eguale, ricavando una terza curva di risonanza. Si determini nei tre casi la resistenza totale del circuito, in base ai valori massimi della corrente nelle tre curve, e ai valori delle resistenze inserite. Si calcolino le impedenze in funzione dell'induttanza, capacità e resistenza, che si conoscono, per diversi punti di ciascuna curva, e si confrontino le intensità delle correnti relative ai punti scelti.

Esperienza N. 14. Accoppiamento induttivo. — (a) Si tracci, servendosi di un cimometro, la curva di risonanza di un circuito oscillante, accoppiato strettamente a una sorgente di oscillazioni a scintilla. Il circuito di eccitazione e quello oscillante devono preferibilmente essere sintonizzati per la stessa frequenza. Si prolunghi la curva per una zona piuttosto estesa di lunghezze d'onda, fino a rilevare le due anse. Si allaschi l'accoppiamento

si rilevi una seconda curva. Quando l'accoppiamento sarà assai asco, si otterrà una curva di risonanza con un'ansa unica.

(b) Si ripetano le stesse misure, con una sorgente di oscillazioni a scintilla strappata, per un accoppiamento stretto e per uno lasco.

(c) Si calcoli per ciascun caso il coefficiente di accoppiamento A tal uopo si misurino, come nell'esperienza N. 11; (1) le induttanze L_1 ed L_2 dei due circuiti accoppiati, (2) l'induttanza L' delle due bobine, accoppiate in serie, (3) l'induttanza L'' delle due bobine accoppiate in serie, ma invertendo i terminali di una di esse. Se L' è maggiore di L'', il coefficiente M di mutua induzione sarà $M = \frac{L' - L''}{4}$, ed il coefficiente K di accoppiamento $K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$

Esperienza N. 15. Misura del decremento. — Si ecciti il circuito, di cui si vuol misurare il decremento, con un triodo o con una sorgente di oscillazioni smorzate, di cui però sia noto il decremento. Si vari la capacità del circuito fino a portarlo alla risonanza, condizione che sarà definita dalle indicazioni dell'amperometro, che sono proporzionali ai quadrati della corrente. Letta la capacità di risonanza, si vari la regolazione del condensatore, fino ad avere un'indicazione all'amperometro, che sia la metà di quella di risonanza, e si rilegga la capacità del condensatore. Si potrà allora calcolare la somma dei decrementi del circuito in prova e del circuito di eccitazione. Usando un triodo, il decremento del circuito eccitatore è nullo. Disponendo di un decrimetro, si misuri il decremento di un'antenna trasmettente. Si noti l'effetto di un aumento di resistenza o di induttanza. Si confrontino i valori del decremento, misurati con questo metodo, con quelli calcolati in base alla resistenza, capacità e induttanza del circuito.

Esperienza N. 16. Resistenza ad alta frequenza dei conduttori. — Si inserisca la bobina o il tratto di conduttore, di cui si vuole misurare la resistenza, in un circuito oscillante, comprendente una coppia termoelettrica e un galvanometro, eccitato indutti-

vamente da un triodo. Si vari la capacità o l'induttanza fino ad avere nella coppia un massimo di corrente, di cui si terrà nota. Si inserisca nel circuito una resistenza nota, e si legga il nuovo valore della corrente massima: si potrà così calcolare la resistenza totale del circuito. Si escluda poi dal circuito la resistenza incognita, si regoli nuovamente il circuito alla risonanza,e si ricalcoli la resistenza totale del circuito. La resistenza incognita si ottiene per differenza. La lunghezza d'onda del circuito di eccitazione si determina con un cimometro. La resistenza della bobina o del tratto di conduttore alla corrente continua si può misurare al ponte di Vheastone.

Si misuri la resistenza incognita a varie lunghezze d'onda, e si calcoli il rapporto fra essa e la resistenza puramente ohmica alla corrente continua: si riportino come ascisse i reciproci della lunghezza d'onda e come ordinate i rapporti suddetti.

Resistenze adatte alla misura: filo di rame, nastro metallico, una bobina d'induttanza ad un unico strato, un'antenna. Si confrontino i risultati di quest'esperienza con quelli dell'esperienza precedente.

Esperienza N. 17. Studio dei raddrizzatori. — (a) Si derivi dai terminali di una batteria di accumulatori un divisore di tensione; e si alimenti a tensioni varie, controllabili con un volmetro, un circuito, costituito da un cristallo raddrizzatore in serie con un galvanometro od altro strumento, capace di misurare correnti di pochi microampere. Mediante un commutatore si inverta il senso della corrente attraverso al cristallo. Si misuri l'intensità della corrente nel circuito per tensioni positive e negative fino a 20 volt. Si misuri la corrente in corrispondenza degli stessi valori di una tensione alternativa a 60 p. s.

(b) Si ripeta l'esperienza con un diodo di Fleming. Si tenga conto del senso, con cui la corrente attraversa il diodo, e si confronti con quello previsto dalla teoria.

(c) Si realizzi lo schema dei circuiti di un raddrizzatore tungar- Si costruisca una tabella dei valori della tensione e della corrente continua, in corrispondenza dei valori della tensione e della cor-

rente alternata. Si notino le variazioni della corrente alternata al variare del carico nel circuito a corrente continua.

Esperienza N. 18. Curve caratteristiche di un triodo con corrente di accensione costante. — Si inserisca nel circuito del filamento un reostato e un amperometro, in modo da regolare al suo valore normale, e mantenere costante, la corrente di accensione. Si disponga nel circuito di griglia una batteria di accumulatori da 5 a 10 volt con un divisore di tensione, così da applicare alla griglia un potenziale positivo o negativo rispetto al filamento, regolabile a piccoli salti. La batteria anodica si componga del numero di accumulatori sufficiente ad assicurare il funzionamento normale del triodo: nel circuito anodico si inserisca un milliamperometro o altro galvanometro tarato: e analogamente si inserisca nel circuito di griglia un galvanometro, per leggere i valori delle piccole correnti di griglia, e un voltmetro per misurare le tensioni di griglia.

Si regoli la tensione anodica al suo valore di funzionamento normale per il triodo sotto prova: e, mantenendola costante, si vari a salti la tensione di griglia, tenendo conto, per ciascuna variazione, della corrente anodica e di quella di griglia. Si tracci la curva caratteristica, prendendo come ascisse le tensioni di griglia e come ordinate le correnti anodiche e le correnti di griglia.

Si regoli la tensione anodica a valori più bassi di quello normale, e si determinino analogamente le curve caratteristiche relative ai nuovi valori della tensione anodica.

Esperienza N. 19. Curva caratteristica di un triodo funzionante da raddrizzatore. — Si derivi, attraverso un interruttore, da una linea di corrente alternata a 110 V e 60 p. s. un circuito, comprendente un'induttanza e una resistenza di valori tali da avere nel circuito una corrente di pochi decimi di ampere. Si inserisca nel circuito di griglia del triodo, che ha servito per l'esperienza precedente, un'induttanza, e si accoppi questa a quella del circuito precedente, con un accoppiamento così lasco da avere nel circuito di griglia, e di conseguenza in quello anodico del triodo, variazioni moderate di tensione. Re-

golando la tensione di griglia a valori diversi, si avranno coll'interruttore aperto e chiuso, valori diversi della corrente anodica e di griglia, di cui si terrà nota. Si tracci la curva avente come ascisse le tensioni di griglia e come ordinate le variazioni della corrente anodica e della corrente di griglia. Si ricavino i valori della tensione di griglia più convenienti per realizzare le variazioni più sensibili della corrente anodica, e per avere il miglior funzionamento del triodo come raddrizzatore.

Esperienza N. 20. Triodo generatore. — Si inserisca nel circuito oscillante della Fig. 262 un amperometro a filo caldo: e per un determinato valore della capacità del condensatore si vari l'accoppiamento fino ad avere nell'amperometro la corrente massima. Si tenga nota di questa corrente e si misuri con un cimometro la frequenza delle oscillazioni. Si regoli il circuito per altre lunghezze d'onda, tenendo conto in ciascun caso del valore massimo di corrente realizzato. Si ripeta l'esperienza, usando gli altri schemi, indicati in Fig. 147 e 148.

Esperienza N. 21. Ricezione ad autodina. — Si realizzi lo schema di un triodo generatore di oscillazioni e quello ad autodina di un secondo triodo. Si sintonizzino per la stessa lunghezza d'onda i circuiti del triodo generatore e di quello ricevente; e si facciano oscillare i due triodi. Variando pochissimo l'induttanza o la capacità del circuito ricevente, si vedrà variare ampiamente la nota dei segnali, ricevuti al telefono: cosicchè sarà assai facile passare dalle note più basse a quelle più acute. Si provi a regolare il circuito ricevente, senza sintonizzare preventivamente i due circuiti del triodo generatore e dell'autodina.

APPENDICE N. 2.

UNITÀ DI MISURA

Ogni misura si può esprimere in funzione di due fattori; il primo è l'elemento di confronto, e si dice unità di misura: il secondo è semplicemente un numero, che indica quante volte l'unità di misura è contenuta nella grandezza misurata. Così, quando diciamo che un fenomeno ha la durata di 15 secondi, assumiamo il secondo come unità di tempo.

Un campione di misura è cosa differente da un'unità di misura: esso ne è la materializzazione. Conviene disporre di campioni esatti, cui riferire le nostre unità di misura. Se misuriamo infatti una lunghezza servendoci di aste più o meno lunghe, otteniamo delle misure differenti: la misura esatta della lunghezza si avrà solo, se la confronteremo coll'asta, che abbiamo stabilito di assumere come campione. I campioni delle unità fondamentali di misura del sistema metrico decimale sono conservati a Parigi.

Nella pratica ordinaria si fanno frequentemente misure senza riferirsi affatto alle grandezze campioni. Mentre nel caso della misura di un peso con una bilancia, il confronto colle grandezze campione è indispensabile, in altri casi la misura si ottiene semplicemente dalla lettura di convenienti scale graduate degli strumenti di misura. Così un volmetro misura le tensioni, ed il risultato della misura si esprime in funzione di un'unità di misura detta volt.

Le unità elettriche derivano da quelle fondamentali del sistema metrico decimale, che sono il metro, il grammo e il secondo. Il « metro » è la lunghezza di una sbarra metallica campione, conservata al Bureau internazionale di Parigi. Il « grammo » è la millesima parte di una massa metallica, conservata nello stesso luogo. Tutti gli stati hanno delle copie di questi due campioni fondamentali. « Il secondo » è l'unità familiare a tutti noi

per la misura del tempo. Gli Stati Uniti e l'Inghilterra non hanno accettato il sistema metrico decimale, ed usano unità di misura che stanno alle nostre nelle relazioni seguenti:

1 millimetro = 0.03937 pollici
1 centimetro = 0.3937 pollici
1 metro = 3.281 piedi = 1.094 yarde
1 kilometro = 0.6214 miglia
1 grammo = 15.43 grani = 0.03527 once
1 kilogrammo = 2.205 libbre
1 litro = 1.057 quarte liquide = 0.2642 galloni
1 ettolitro = 90.81 quarte secche = 2.838 staia
1 pollice = 2.540 centimetri = 25.40 millimetri
1 piede = 30.48 centimetri = 0.3048 metri
1 yarda = 91.44 centimetri = 0.9144 metri
1 miglio = 1.609 chilometri = 1609 metri
1 oncia = 28.35 grammi
1 libbra = 0.4536 chilogrammi = 453.6 grammi
1 quarta liquida = 0.9463 litri
1 quarta secca = 1.101 litri

Nel sistema metrico decimale si adoperano prefissi speciali per indicare unità multiple o sottomultiple della fondamentale: come risulta dalla tebella seguente:

Prefisso	Abbreviazione	Significato
micro	μ	un milionesimo
milli	m	un millesimo
centi	c	un centesimo
deci	d	un decimo
deca	dc	dieci
etto	h	cento
kilo	k	mille
mega	M	un milione

Senza accennare qui allo sviluppo storico dei sistemi di unità di misure elettriche, basterà dire che le unità elettriche di misura, attualmente in uso, si chiamano unità elettriche internazionali, e si basano su quattro unità fondamentali: l'ohm, l'ampere, il centimetro e il secondo. La prima è l'unità di resistenza,

ossia è la resistenza di un conduttore purissimo di dimensioni esattamente definite. L'ampere è l'unità di corrente, ed è la corrente che in un tempo determinato deposita una quantità definita di argento da una soluzione appropriata. Le altre unità elettriche derivano da queste in relazione ai principi fondamentali dell'elettricità. Di alcune di esse si riporta la definizione adottata dai congressi scientifici internazionali e accettata universalmente nella pratica elettrica.

L'« ohm » è la resistenza di una colonna di mercurio del peso di gr. 14.4521, di sezione uniforme, alta cm 106.300, alla temperatura del ghiaccio fondente.

L'« ampere » è la corrente, che, attraversando una soluzione di nitrato d'argento in acqua, definita esattamente da altre condizioni, deposita gr. 0,00111800 di argento in un secondo.

Il « volt » è la forza elettromotrice, che dà luogo in un conduttore, avente la resistenza di 1 ohm, alla corrente di 1 ampere.

Il « coulomb » è la quantità di elettricità trasportata in un secondo da una corrente, avente l'intensità di 1 ampere.

Il « farad » è la capacità di un condensatore, nel quale la differenza di potenziale di 1 volt fra le armature fa accumulare 1 coulomb di elettricità

L'« henry » è l'induttanza di un circuito, nel quale si induce la forza elettromotrice di 1 volt, quando la corrente varia di 1 ampere in un secondo.

Il « watt » è la potenza assorbita dalla resistenza di 1 ohm quando è attraversata dalla corrente di 1 ampere.

Lo « joule » è l'energia spesa in un secondo dalla corrente di 1 ampere in una resistenza di 1 ohm. Il watt e lo joule non sono unità elettriche primarie, ma se ne deve conoscere la definizione, poichè la potenza e l'energia sono due fattori importantissimi di ogni processo elettrico. Un'altra unità di quantità di elettricità, oltre il coulomb, è l' « ampere-ora » che è la quantità di elettricità, che la corrente di 1 ampere trasporta in un'ora. Le unità di capacità, usate in radiotelegrafia, sono il « microfarad » e il « micromicrofarad » (un milionesimo di milionesimo

di farad) e non il farad, che è un'unità troppo grande. Le unità di induttanza usate sono il « microhenry », e il « millihenry »

ABBREVIAZIONI DELLE UNITÀ

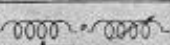
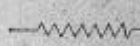
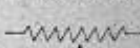
ampere	A	kilowatt	kW
ampere-ora	Ah	kilowatt-ora	kWh
centimetro	cm	kilovoltampere	kVA
centimetro-grammo-secondo	c.g.s.	metro	m
centimetro cubico	cm^3	microfarad	μF
periodi al secondo	p.s.	micromicrofarad	μμF
grado centigrado	°C	millihenry	mH
grado Fahrenheit	°F	millimetro	mm
grammo	g	secondo	sec
henry	H	centimetro quadrato	cm^2
chilogrammo	kg	volt	V
chilometro	km	watt	W

APPENDICE N. 3.

SIMBOLI USATI PER LE QUANTITÀ FISICHE.

Quantità fisica	*simbolo*
altezza	h
area	S o A
coefficiente di accoppiamento	k
autoinduzione	L
base dei logaritmi neperiani = 2.718	e
capacità	C
intensità del campo magnetico	H
valore istantaneo della corrente	i
valore efficace della corrente	I
decremento	δ
densità	d
costante dielettrica	K
intensità del campo elettrico	E
valore istantaneo della f. e. m.	e
val. efficace della f. e. m.	*E*
energia	W
angolo di fase	ϑ
differenza di fase	φ
forza	F
flusso magnetico	Φ

Quantità fisica	*simbolo*
frequenza	f
accelerazione della gravità	g
impedenza	Z
induzione magnetica	B
induzione mutua	M
lunghezza	l
lunghezza d'onda	λ
lungh. d'onda in metri	λ_m
numero dei giri	n
periodo	T
permeabilità	μ
differenza di potenziale	V
valore istantaneo di potenza	p
valore medio di potenza	P
pulsazione	ω
quantità di elettricità	Q
rapporto della circonf. al diametro = 3.1416	π
reattanza	X
resistenza	R
coefficiente di temperatura	α
tempo	t
velocità	v
velocità della luce	c

Simboli usati negli schemi
Alternatore
Amperometro
Antenna
Arco voltaico
Batteria di pile o accumulatori
Vibratore
Condensatore
Condensatore variabile
Incrocio di fili con connessione
Incrocio di fili senza connessione
Circuiti accoppiati
Accoppiamento variabile
Raddrizzatore a cristallo
Galvanometro
A
G
Spinterometro semplice
Spinterometro a scintille strappate
Terra
Induttanza
Induttanza variabile
Tasto per segnalare
Resistenza
Reostato variabile
Interruttore
Commutatore
Interruttore doppio
Commutatore doppio
Invertitore
Telefono
Microfono
Coppia termoelettrica
Trasformatore
Triodo
Voltmetro
V

INDICE ANALITICO

D - *Pile ed accumulatori.*

E - *Circuiti elettrici.*

F - *Capacità.*

G - *Magnetismo.*

H - *Induttanza.*

I - *Corrente alternata.*

J. - *Strumenti di misura.*

CAPITOLO SECONDO

Macchine dinamo elettriche.

A - *L'alternatore.*

B - *Teoria dell'alternatore.*
Perdite e rendimento.

C - *Generatori a corrente continua.*

D - *Alternatori speciali per usi radiotelegrafici.*

E - *Motori.*

F - *Complessi motori-generatori e dinamotori.*

CAPITOLO TERZO

Circuiti radiotelegrafici.

A - *Circuito oscillante semplice.*

CAPITOLO QUARTO

Onde elettromagnetiche.

C - Teoria della produzione e ricezione delle onde elettromagnetiche.

D - Formule relative alla trasmissione.

E - Dispositivi per l'irradiazione e la ricezione delle onde.

F - Caratteristiche dell'antenna.

G - Costruzione dell'aereo.

H - *Aerei a telaio.*

CAPITOLO QUINTO

Apparecchi di trasmissione e ricezione (esclusi i triodi).

A - *Apparati trasmettenti ad onde smorzate.*

B - *Apparecchi per la trasmissione di onde continue.*

C - *Apparati ricevitori.*

CAPITOLO SESTO

I triodi nelle trasmissioni radiotelegrafiche

A - *L'emissione elettronica nei triodi.*

B - *Triodo raddrizzatore.*

INDICE ALFABETICO

A

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

O

S

U

V

W